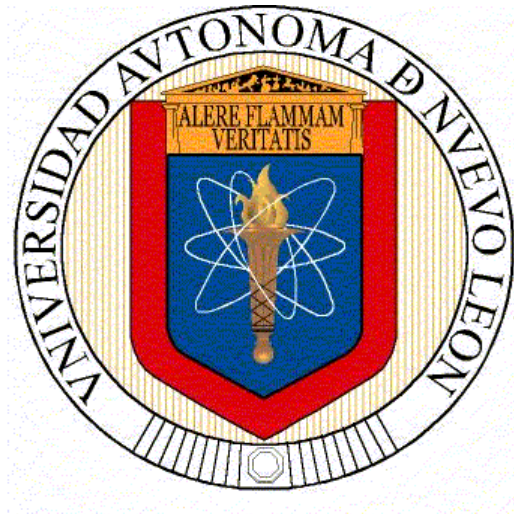


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE ORGANIZACIÓN DEPORTIVA**



**ANÁLISIS DE LA FRECUENCIA CARDIACA EN COMPETENCIA EN
EL FUTBOL PROFESIONAL**

POR

DIEGO ULISES MORENO VILLARREAL

**COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS DEL EJERCICIO CON ESPECIALIDAD
EN DEPORTE DE ALTO RENDIMIENTO**

JULIO 2013

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE ORGANIZACIÓN DEPORTIVA**



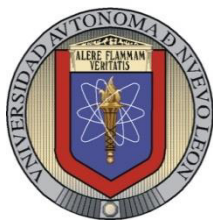
**ANÁLISIS DE LA FRECUENCIA CARDIACA EN COMPETENCIA
EN EL FUTBOL PROFESIONAL**

POR

LIC. DIEGO ULISES MORENO VILLARREAL

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS DEL EJERCICIO CON ESPECIALIDAD
EN DEPORTE DE ALTO RENDIMIENTO

SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, NUEVO LEÓN, JULIO DE 2013



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE ORGANIZACIÓN DEPORTIVA
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO



Los miembros del comité de Tesis de la Subdirección de posgrado de la Facultad de Organización Deportiva, recomendamos que la tesis “ANÁLISIS DE LA FRECUENCIA CARDIACA EN COMPETENCIA EN EL FUTBOL PROFESIONAL” realizada por el Lic. Diego Ulises Moreno Villareal, con número de matrícula 819051, sea aceptada para su defensa para opción al grado de Maestría en Ciencias del Ejercicio con Especialidad en Deporte de Alto Rendimiento.

COMITÉ DE TESIS

Dr. Fernando A. Ochoa Ahmed
Asesor Principal

Dr. Ricardo Navarro Orocio
Co-asesor

Dr. Luis Enrique Carranza García
Co-asesor

Dra. Jeanette López-Walle
Sub-Directora de Posgrado

San Nicolás de los Garza, Nuevo León, Julio de 2013

AGRADECIMIENTOS

La presente Tesis es un esfuerzo en el cual, directa o indirectamente, participaron varias personas leyendo, opinando, corrigiendo, teniéndome paciencia, dando ánimo, acompañándome en momentos de crisis y en momentos de felicidad.

Agradezco a Dios, quien me dio la fortaleza, fe, salud y esperanza para alcanzar este anhelo que se vuelve una realidad tangible, siempre estuvo a mi lado y me doto de grandes talentos que hoy puedo utilizar en mi vida. A mis Padres, quienes permanentemente me apoyaron con espíritu alentador, contribuyendo incondicionalmente a lograr las metas y objetivos propuestos porque siempre creyeron en mí y me sacaron adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ustedes, hoy puedo ver alcanzada mi meta. El orgullo que sienten por mí, fue lo que me hizo ir hasta el final. Va por ustedes, por lo que valen, porque admiro su fortaleza y por lo que han hecho Gracias por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida. A mi Esposa Claudia, miles de palabras no bastarían para agradecerle tu apoyo y comprensión, tus consejos en los momentos difíciles, todo lo que me has ayudado durante mi carrera y los más de 17 años juntos desde el noviazgo hasta nuestro matrimonio jamás se me olvidara. Al Profr. Pepe Treviño, por ser un amigo incondicional, por darme la oportunidad de desarrollar mis conocimientos en los diferentes ámbitos laborales y haberme formado como un verdadero profesional. Al Club Deportivo Real España y sus presidentes, Mateo Yibrin, Fuad Abufele, Mario Verdial y Jaime Villegas, la organización que me brindó su apoyo y toda su colaboración para la realización de este trabajo. A mi tutor, Dr. Fernando Ochoa, quien me ha orientado en todo momento en la realización de este proyecto y cuyas aportaciones son muy valiosas para mi carrera profesional. Al Profr. José Alberto Pérez, por su enseñanza y su amistad.

A mi amigo Javier Quintero Floyd, por aguantarme tantas discusiones en las clases de la Facultad. Al Dr. Luis Aguilar, por sus conocimientos impartidos que fueron la base para esta investigación. A todos mis maestros que fueron parte de mi formación y quienes me enseñaron más que el saber científico, a quienes me aportaron su conocimiento y su aplicación en la práctica. A mi amigo David López por toda la ayuda brindada y asesoría durante todo el desarrollo de la Tesis. Al Profe Jesús Arellano, que me dio la oportunidad de iniciar mi carrera como entrenador deportivo. A los profes que me ayudaron a dar mis primeros pasos en mi carrera: Eliud Contreras, Jesús García, Héctor Becerra, Magdaleno Cano, Héctor Gamboa, Alberto Ordaz, Nicolás Martelotto, también otros profes que han sido parte de mi vida profesional y mis amigos, Carlos Turrubiates, Aarón Sáenz, Ángel Martínez Cervera, Joel López , Alejandro Martínez, Jorge Escamilla. A la Facultad de Organización, por darme la oportunidad de poder formarme como profesional. A todos, espero no defraudarlos y contar siempre con su valioso apoyo, sincero e incondicional

Gracias a todos.

DEDICATORIA

Dedico la presente tesis a mi hijo Luka, que llegó a mi vida como un milagro de amor. Gracias, porque eres mi inspiración y fortaleza; una sonrisa, un abrazo, una muestra de cariño tuya ilumina mi mundo y me da la energía necesaria para seguir.

Luka, recuerda que nada en esta vida puede detener al hombre que posee la correcta actitud mental para lograr sus metas.

Escuché una frase que marcó la pauta para mi vida personal y profesional:

"Sin Excusas y Sin Limites".

Espero que la pongas en práctica en tu caminar por esta vida. Te amo.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	3
DEDICATORIA.....	5
ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS	8
1. INTRODUCCIÓN.....	10
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
3.OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	16
4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	18
5. MARCO TEORICO.....	20
5.1 La Frecuencia Cardíaca como Indicador de Carga en el Ejercicio Físico.....	21
5.1.1 <i>Frecuencia Cardíaca Máxima</i>	22
5.2 Características del Esfuerzo en el Fútbol.....	30
5.2.1 <i>Frecuencia Cardíaca</i>	31
5.2.1.1 <i>Frecuencia Cardíaca Promedio</i>	31
5.2.1.2 <i>Frecuencia Cardíaca Máxima</i>	32
5.2.1.3 <i>Frecuencia Cardíaca del Primer al Segundo Tiempo de Juego</i>	33
5.2.1.4 <i>Frecuencia Cardíaca, Situaciones de Juego y Posiciones Tácticas</i>	35
5.2.1.5 <i>Frecuencia Cardíaca entre Diferentes Niveles de Juego y Edad</i>	36

5.2.1.6 Valoración de la Intensidad a través de la Frecuencia Cardíaca.....	38
5.2.2 Consumo de Oxígeno.....	41
5.2.3 Sustratos y Gasto Energético.....	43
5.2.4 Lactacidemia.....	46
6. MATERIAL Y MÉTODOS.....	50
6.1 Diseño de Investigación.....	51
6.2 Muestra.....	51
6.3 Variables.....	52
6.3.1 Variables independientes.....	52
6.3.2 Variables dependientes.....	53
6.4 Tratamiento Estadístico.....	54
7. RESULTADOS.....	56
8. DISCUSIÓN.....	65
9. CONCLUSIONES.....	73
10. RECOMENDACIONES.....	68
11. REFERENCIAS.....	77
ANEXO A.....	85

Índice de Tablas y Figuras

FIGURAS	PAG.
<i>Figura 1. Relación entre porcentajes de VO2max y FCMax (Hellerstein y Adler, 1971).</i>	24
<i>Figura 2. Impacto del ejercicio de diferente intensidad en la respuesta del organismo de atletas de diferente nivel.</i>	26
<i>Figura 3. Gráfico de dispersión a partir de los datos de la revisión de la literatura realizada por Fox et al (1971).</i>	28
<i>Figura 4. Cambios en la FC del primer tiempo de juego al descanso, y de éste al segundo tiempo.</i>	33
<i>Figura 5. Comparación de indicadores selectos de FC entre jugadores profesionales y amateurs.</i>	34
<i>Figura 6. Concentración de lactato en jugadores de futbol de niveles professional y amateur.</i>	48
<i>Figura 7. Comparación de la concentración de lactato por posiciones tácticas.</i>	49
<i>Figura 8. Ejemplo del control de las variables de competencia jugador Carlos Días equipo Real España Honduras posición medio derecho.</i>	54
<i>Figura 9. Gráfica de los valores medios de FC en competencia. Los valores se describen en porcentaje respecto al máximo obtenido en la Prueba de Kindermann.</i>	60
<i>Figura 10. Ilustración teórica para mostrar la posibilidad de establecer zonas concretas de intensidad de juego en el Futbol profesional.</i>	71

TABLAS	PAG.
<i>Tabla 1. Relación entre trabajo y frecuencia cardiaca (Schneider, 1939).</i>	24
<i>Tabla 2. Estimación del error en las intensidades de ejercicio sub máximo y el VO máx., cuando se usan FC estimadas con errores de 2, 4, 6 y 8 lat/min (predicción de la FC máx. sub estimada).</i>	29
<i>Tabla 3. FCprom de futbolistas en competencia (modificado de García y Ardá, 2005).</i>	32

TABLAS	PAG.
<i>Tabla 4. Ejercicios Específicos para Fútbol y sus rangos de FC.</i>	40
<i>Tabla 5. Relación entre los porcentajes de la FC de Reserva y de FC en función del VO2max.</i>	41
<i>Tabla 6. Valores de VO2max relativo al peso corporal y su valoración cualitativa para futbolistas profesionales.</i>	43
<i>Tabla 7. Escala de intensidades en base a la lactacidemia.</i>	46
<i>Tabla 8. Descripción de la Muestra y variables de partida.</i>	51
<i>Tabla 9. Base de datos para el tratamiento estadístico.</i>	55
<i>Tabla 10. Matriz de Correlaciones no paramétricas Rho de Spearman entre la edad y las variables iniciales de Frecuencia Cardíaca de la muestra.</i>	57
<i>Tabla 11. Diferencia en latidos entre la FCmax obtenida por fórmula "220-edad" y en test de Kindermann modificado.</i>	58
<i>Tabla 12. Estadísticos descriptivos individuales de las variables en competencia de los jugadores de la muestra, expresados en latidos por minuto (lpm).</i>	59
<i>Tabla 13. Estadísticos descriptivos individuales de las variables en competencia de los jugadores de la muestra, expresados en porcentaje de la FCmax obtenida en la prueba de Kindermann modificada.</i>	60
<i>Tabla 14. Comparación de los valores de Frecuencia Cardíaca Máxima teórica (Fórmula atribuida a Fox, Naughton y Haskell), real obtenida en prueba de campo (Test progresivo de Kindermann) y promedio de la frecuencia máxima en 10 partidos de liga por los jugadores de la muestra.</i>	61
<i>Tabla 15. Matriz de Correlaciones entre las variables de FC en competencia (filas) y variables independientes de FC y edad (columnas).</i>	62
<i>Tabla 16. Frecuencia de partidos y tiempos de juego donde los jugadores de la muestra alcanzaron valores mínimos iguales o inferiores a 120 lpm.</i>	63

1. INTRODUCCION

Una de las claves del éxito de cualquier equipo profesional de fútbol es la implementación de una planificación eficaz. Todos los profesionales que intervienen en el rendimiento del deportista, ya sea entrenador, preparador físico, psicólogo, médico, etc., debe, idealmente, basar su planificación en indicadores precisos del estado de entrenamiento y el nivel de las capacidades físicas del futbolista, de tal forma que los resultados puedan ayudar a analizar la carga interna (aspectos fisiológicos) en el fútbol y así poder establecer una planificación y metodología de entrenamiento a través de la aplicación adecuada de los componentes de la carga (carga externa) más adecuada para el óptimo desarrollo del jugador profesional.

La preparación del futbolista se ha transformado en las últimas décadas desde el punto de vista de la metodología del entrenamiento, el trabajo técnico-táctico, la preparación física y las reglas de juego. En la actualidad, surgen nuevas formas de valoración de la respuesta fisiológica de los jugadores, y, en este sentido, sigue siendo de gran interés el estudio de la frecuencia cardíaca (FC) como variable fisiológica de alto valor informativo en el entrenamiento deportivo, ya que su control permite conocer los cambios que ocurren en el organismo producto de los esfuerzos físicos de diferente

intensidad y duración. Este indicador en el Fútbol en particular ha sido tema de investigación de diversos especialistas, orientado tanto al control de la carga en el entrenamiento como al estudio de los esfuerzos en el partido, permitiendo conocer en mayor medida las demandas energéticas que ocurren en el juego e incrementar la exactitud en la dosificación de las cargas físicas.

El presente trabajo se elabora con la finalidad de contribuir a la determinación de un perfil fisiológico que caracterice al jugador de fútbol a partir de la frecuencia cardiaca, considerando las dificultades metodológicas de su estudio en competencia, su naturaleza compleja y la falta de información comparable.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Hace algunas décadas, y a pesar de su gran popularidad, existían pocos trabajos científicos publicados sobre el fútbol, a diferencia de la literatura existente en otros deportes, sobre todo los individuales. Esto se debe en parte a la complejidad del mismo, pues en el rendimiento futbolístico no sólo influyen las características fisiológicas y psicológicas, sino también los fundamentos técnicos y tácticos.

Esta investigación puede ser de gran utilidad para establecer características fisiológicas del jugador de futbol profesional teniendo como objeto de estudio proporcionar información sobre la carga interna del jugador durante su competición a través de uno de los indicadores más conocidos y referidos pero a la vez poco estudiado en competencia en la actualidad: la frecuencia cardiaca.

La práctica de deportes de alta intensidad genera modificaciones en el aparato cardiovascular relacionadas con cambios en el sistema nervioso autónomo, volúmenes de sangre movilizados y procesos metabólicos, sumados a estímulos directos y regulares

sobre la función vascular. Los cambios morfológicos en el corazón del deportista ocurren en individuos sometidos a entrenamientos de elevada intensidad, frecuentes, de duración prolongada y realización de esfuerzos que involucran grandes masas musculares. El fútbol es un deporte considerado de alta intensidad dinámica y baja estática. Sin embargo, incluye entrenamientos con ejercicios mixtos, con componentes dinámicos y estáticos elevados, por lo que se involucran metabolismos energéticos de tipo aeróbico y anaeróbico.

Actualmente no existe ningún estudio realizado en América Latina en el que se haya controlado la frecuencia cardiaca de los jugadores a lo largo de varios partidos oficiales de nivel profesional y que además incluyan la final por el campeonato. Los más similares existentes a la fecha solo evalúan juegos de entrenamiento y partidos amistosos; de ahí que este estudio represente el primero en proporcionar información sobre partidos de competencia oficial durante un campeonato de liga. Esto da la posibilidad de contribuir con evidencia científica que permita un mejor diseño y planificación de la preparación física del futbolista al contrastar los datos obtenidos en competencia y en pruebas de esfuerzo con lo estimado mediante la fórmula más conocida y extendida para establecer intensidades de entrenamiento: $FC_{max} = 220 - \text{edad}$.

3. OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Caracterizar la demanda fisiológica del futbol profesional mediante variables selectas de la Frecuencia Cardiaca (FC) en un equipo de alto nivel.
2. Analizar y contrastar la utilidad de la valoración de la FC en Competencia mediante dos procedimientos distintos para determinar la Frecuencia Cardiaca Máxima (FCmax): obtención del valor máximo en prueba de terreno, y estimación por medio de la fórmula “FCmax = 220 – edad”.
3. A partir de la evidencia científica obtenida, proponer innovaciones en relación al diseño y planificación de la preparación física del futbolista.

4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- 1) ¿Qué relación guarda la fórmula atribuida a Fox, Naughton y Haskell (1971) para la frecuencia cardiaca máxima teórica con la frecuencia cardiaca máxima real en prueba de campo y competencia?
- 2) ¿Qué utilidad real para la planeación de cargas de trabajo tiene la fórmula de Fox et al en comparación con la FCmax obtenida mediante prueba de esfuerzo en terreno?
- 3) ¿Qué diferencias hay en el comportamiento de la frecuencia cardiaca entre primer y segundo tiempo en los jugadores? (exceptuando al portero).
- 4) ¿Qué diferencias y similitudes hay en el comportamiento de la frecuencia cardiaca entre los jugadores por posición táctica?
- 5) ¿Cómo establecer y justificar zonas de intensidad en base a la frecuencia cardiaca promedio mínima, máxima y promedio?
- 6) ¿En base a la respuesta a la pregunta anterior, ¿Qué diferencias se pueden establecer en recomendaciones específicas para el entrenamiento de los futbolistas por posición táctica?

5. MARCO TEÓRICO

5.1 LA FC COMO INDICADOR DE CARGA EN EL EJERCICIO FÍSICO

La elaboración de un programa de entrenamiento eficaz requiere sólidos conocimientos de las respuestas fisiológicas del cuerpo a las cargas de trabajo progresivas respecto al estado de entrenamiento individual (Hall, 1995). Cuando el cuerpo es sometido a una actividad física, requiere de un potencial energético mayor que el normal. A medida que la actividad aumenta, mayor será la necesidad de consumo de energía. Cuando un individuo altera su estado reposo a través de la actividad física, aumenta la frecuencia respiratoria, la frecuencia cardíaca y la temperatura corporal.

Así, el ejercicio físico es un comportamiento que intensifica notablemente el funcionamiento del sistema cardiovascular. Parámetros como la frecuencia cardíaca (FC), volumen sistólico y, consecuentemente, el débito cardíaco, aumentan significativamente durante una sesión de ejercicio físico (Negrão, Forjaz, Moraes, Rondon, & Brum, 1996).

El corazón es el músculo que recoge la sangre de todo el cuerpo a través del sistema venoso para enviarla de nuevo a los mismos lugares mediante las arterias,

cumpliendo así su misión de llevar la energía necesaria a las células del organismo (Irigoien, 1999). El corazón cumple su función al contraerse y expandirse. La velocidad de contracción del corazón también se conoce como Frecuencia Cardíaca (FC). Ésta es la cantidad de pulsaciones o contracciones por minuto (p.p.m) que realiza el corazón, lo cual corresponde a la cantidad de veces que el corazón se contrae en un minuto (Gutiérrez y Sira, 1986).

La FC es uno de los parámetros no invasivos más utilizados en el análisis y en la valoración de la actividad cardíaca para evaluar la respuesta del corazón al ejercicio, o la recuperación luego del mismo, así como para prescribir intensidades de ejercicio (Karvonen, Kentala y Mustala, 1957). El aumento de FC durante el ejercicio es evidente a la simple observación. Así, la posibilidad de utilizar la FC como indicador de carga fisiológica viene dada porque las variaciones en la FC durante el ejercicio correlacionan con cambios en la intensidad del ejercicio. La facilidad con la cual se pueden contar las pulsaciones dio origen a muchas investigaciones sobre los cambios que se producen en la frecuencia como resultado de distintos tipos, intensidades y duraciones de la actividad física. La mayoría de dichos estudios adolecía del defecto de que el periodo de observación comenzó, generalmente, después de la suspensión del ejercicio (Morehouse & Miller, 1976), pero posteriormente la FC pudo ser medida directamente (Karvonen & Vuorimaa, 1988) gracias a la llegada de dispositivos como los monitores cardíacos, con lo que es posible registrar en forma continua la frecuencia cardíaca durante el ejercicio y la recuperación.

5.1.1 FRECUENCIA CARDÍACA MÁXIMA (FC_{max})

La FC está influida por muchos factores, entre los que se encuentran la postura, el ejercicio, la emoción y la temperatura corporal (Morehouse y Miller, 1976).

Numerosas investigaciones en los últimos 100 años coinciden en encontrar que la FC máxima tiene valor máximo (Lusk, 1928) que no puede ser sobrepasado a pesar de incrementos continuos en la intensidad del ejercicio o de las adaptaciones al entrenamiento. La FCmax alcanzada durante el ejercicio, así como la velocidad con la cual se llega a ese valor, varían según el tipo de ejercicio (su intensidad y duración), el contenido emocional, la temperatura ambiente y la humedad, así como la aptitud física del sujeto. En varones sanos, se han registrado cifras superiores a las 200 pulsaciones por minuto durante el ejercicio (Morehouse y Miller, 1976).

Existen diferentes caminos para poder expresar la intensidad de trabajo a través de la FC. Hopkins (1991) señaló que la FC absoluta es usada para monitorizar la intensidad en el día a día en atletas individuales, pero también puede ser expresada como un porcentaje respecto de la FC máxima del atleta para controlar las diferencias entre atletas. La estimación de la frecuencia cardiaca máxima (FCmáx) ha sido una característica de la fisiología del ejercicio y de las ciencias aplicadas relacionadas, desde fines de 1930 (Robergs y Landwehr, 2002).

Uno de los criterios más importantes para utilizar la FCmax como valor diagnóstico para la posterior dosificación del ejercicio es la relación que en varios estudios se ha encontrado entre la FC y la captación de oxígeno. Hellerstein y Adler encontraron (1961), a partir de determinar FCmax y Consumo Máximo de Oxígeno (VO2max), una relación lineal entre los porcentajes de ambas variables (figura 1).

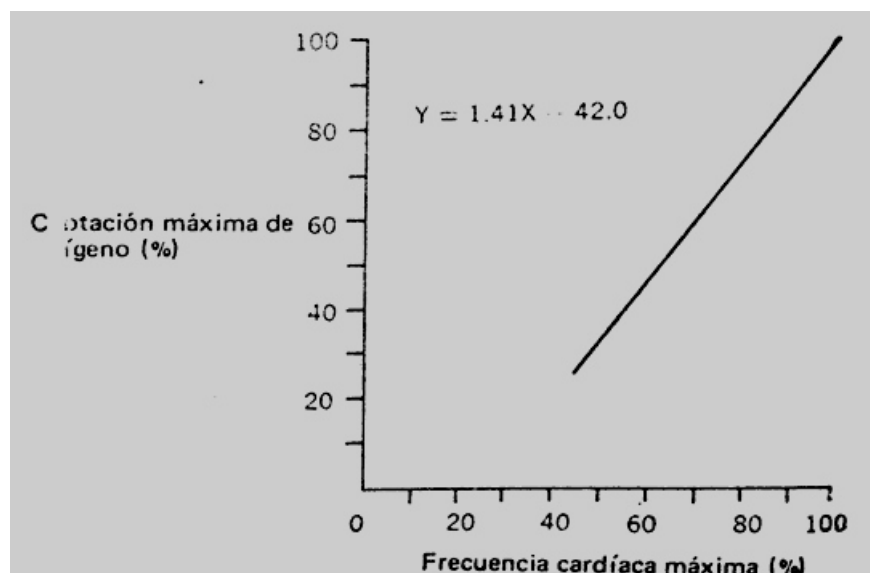


Figura 1. Relación entre porcentajes de VO_{2max} y FC_{Max} (Hellerstein y Adler, 1971).

En un sujeto dado, la máxima frecuencia cardíaca durante el esfuerzo tiene una relación significativa con el grado de esfuerzo realizado ante una carga de trabajo externa (medible con parámetros físicos como la velocidad, kilos, repeticiones, etc.), como ya en 1939 demostró Schneider mediante la relación entre la FC y el trabajo externo medido en kilográmetros durante un ejercicio continuo en cicloergómetro (tabla 1). La evidencia empírica muestra la misma dinámica de incremento progresivo de la FC, cada vez menor, conforme este indicador se acerca a la FC_{max} individual.

Tabla 1. Relación entre trabajo y frecuencia cardíaca (Schneider, 1939).

Trabajo (kilográmetro por minuto)	Frecuencia cardíaca por minuto	Incremento de frecuencia cardíaca
Reposo	75	—
275	105	30
550	132	27
825	154	22
1100	177	23
1375	198	21

También se ha encontrado que ante una misma carga externa de trabajo, los individuos más aptos físicamente ven incrementada su frecuencia en menor medida a comparación de sujetos con un estado de entrenamiento inferior, siendo además común que, si dos sujetos, uno mucho más apto que el otro, trabajan hasta el agotamiento, la FCmax que cada uno alcance no sea muy diferente de la del otro, mas la cantidad y potencia del trabajo realizado será mucho mayor en el caso del sujeto con mejor estado de entrenamiento (Morehouse y Miller, 1976; Platonov, 1994). La recuperación también verá influenciada su dinámica en función de la aptitud al entrenamiento (Figura 2)

En los deportistas de alto nivel especializados en deportes que requieren un alto grado de resistencia, la FC con una carga extrema puede aumentar 5-6 veces, mientras que en las personas que no practican deporte aumenta entre 2.3-3 veces. Con cargas muy fuertes, se producen casos en que la FC puede alcanzar 250 por minuto y más. Por otro lado, un entrenamiento especial no sólo aumenta los valores de FCmax, sino que provoca una bradicardia considerable en estado de reposo. La FC de 40-50 por minuto en reposo es habitual para los deportistas de alto nivel especializados en deportes de resistencia. En algunos corredores de fondo, ciclistas de ruta y esquiadores se suelen hallar índices de FC de 30-40 por minuto (Platonov, 1997).

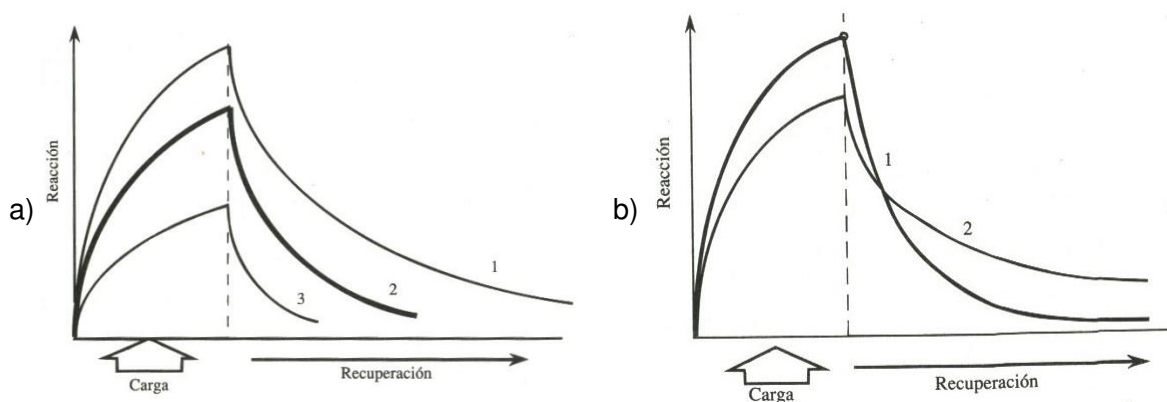


Figura 2. Impacto del ejercicio de diferente intensidad en la respuesta del organismo de atletas de diferente nivel. a) reacción de tres atletas a una misma carga, uno de bajo nivel (1), otro de alto nivel (2) y un maestro del deporte (3). b) reacción de dos atletas de diferente nivel ante una carga extrema. El atleta de alto nivel (1) logró además realizar mayor cantidad de trabajo, además de recuperarse más rápido que el atleta de bajo nivel (2). Tomado de Platonov (1994).

Tanto la relación entre la cantidad de trabajo realizado y la respuesta del sistema cardiovascular reflejada en la modificación de la FC, como las variaciones individuales de los valores de FCmin y FCmax explican la importancia que tiene determinar éste último indicador en cada sujeto a entrenar, con el fin de establecer la carga más adecuada a cada uno mediante la individualización de todos estos parámetros.

El valor de la FCmax es interpretado como el límite máximo del incremento de la función cardiovascular central (Robergs y Landwehr, 2002).

Desde hace décadas, en la literatura se otorga gran confianza a la fórmula “220 – edad”, atribuida a Fox, Naughton y Haskell (1971), para predecir la FCmax individual. Basándose en su aplicación, la respuesta de la FC al ejercicio ha sido usada para calcular intensidades de entrenamiento, ya sea como porcentaje de la frecuencia cardiaca máxima (%FCmax) o como porcentaje de la frecuencia cardiaca de reserva (%FCR), como propusieron Heyward (1997) y Swain, Abernathy, Smith, Lee y Bunn (1994), basados en el llamado “método de Karvonen” (Karvonen, Kentala y Mustala, 1957).

La evidencia empírica y la recolectada por autores como Platonov, sin embargo, sugieren que la fórmula mencionada no predice con precisión aceptable la FCmax, y que subestima la FCmax real en atletas altamente entrenados, y la utilización de análisis de regresión lo confirma: en una revisión a investigaciones sobre la FCmax, realizada por Robergs y Landwehr (2002), los autores realizaron un análisis de regresión con los datos originales del estudio de Fox et al, resultando una fórmula distinta ($FC_{max}=215.4-(0.9147 \cdot \text{edad})$) con un Coeficiente de Determinación (R^2) de 0.51, con un Error Estándar de Estimación (S_{xy}) de 21 lat/min (figura 3). Estos valores no sustentan la ecuación “220-edad”, e inclusive la fórmula obtenida con el análisis de regresión tiene un error excesivo. Más aún, Robergs y Landwehr, al buscar el origen de la fórmula por medio de la revisión de una extensa lista de artículos relacionados y entrevistando incluso a algunos de los científicos a quienes se había llegado a atribuir la fórmula como Astrand y Karvonen, encontraron que los datos del artículo original de Fox et al de 1971 provenían a su vez de la revisión de varias investigaciones relacionadas con la actividad física y enfermedades cardíacas. En la sección “intensidad”, el artículo muestra un gráfico de dispersión con datos de edad y FCmax reportados en los textos revisados, la mayoría obtenidos a partir de pruebas de laboratorio con sujetos de diferentes edades. A los datos no se les aplicó análisis de regresión para elaborar alguna fórmula (Tanaka, Monahan y Seals, 2011), y los autores escribieron al calce de la figura:

“Ninguna recta sola (refiriéndose a los modelos lineales de regresión utilizados para proponer fórmulas) va a representar los datos de la aparente declinación de la frecuencia cardíaca con la edad. La fórmula Frecuencia Cardíaca Máxima = 220 – edad en años, define una recta que no está lejos de los puntos de los datos” (Fox, Naughton y Haskell, 1971, en Robergs y Landwehr, 2002, p. 6).

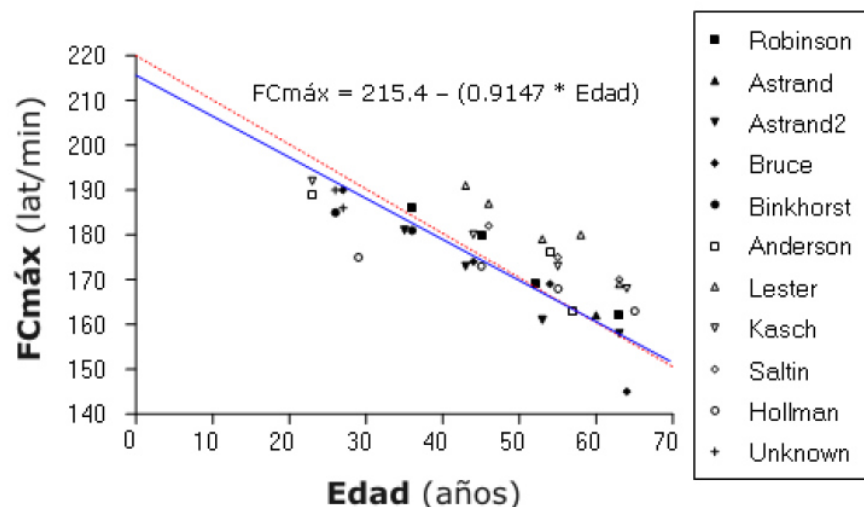


Figura 3. Gráfico de dispersión a partir de los datos de la revisión de la literatura realizada por Fox et al (1971). La recta azul representa el modelo de regresión calculado por Robergs y Landwehr (2002), y la recta roja representa el modelo correspondiente a la fórmula 220-edad.

La conclusión de los autores es que Fox et al nunca propusieron una fórmula a partir de un análisis de regresión, sino que fue una simple observación, redondeada, para indicar con fines ilustrativos la tendencia percibida subjetivamente en los datos, y que incluso en el artículo original se señala que, para los datos analizados, ningún modelo lineal podría explicar dicha tendencia.

En cuanto al error que puede ser considerado aceptable para propósitos de prescripción de la FC de entrenamiento, Robergs y Landwehr estimaron adecuados “errores de ≤ 8 lat/min, pero para el VO máx., los errores de predicción de la FC máx. necesitan mantenerse en $< \pm 3$ lat/min” (2002, p.7). Esta aseveración es sustentada en la tabla 2, donde se puede apreciar que un error de entre 4 y 8 latidos por minuto puede derivar en un error en el VO₂max de 233 a 467 ml/min. Por ello, una fórmula de predicción confiable para fines dosificar el ejercicio en la preparación de alto nivel debería ofrecer un error lo más bajo posible.

Tabla 2. Estimación del error en las intensidades de ejercicio sub máximo y el VO máx., cuando se usan FC estimadas con errores de 2, 4, 6 y 8 lat/min (predicción de la FC máx. sub estimada).

Intensidad	Valores de FC para errores de FCmáx. dados. (Verdadero– Estimado, lat/min (%))				
	Verdadero	2 (1)	4 (2.1)	6 (3.1)	8 (4.2)
Intensidades de ejercicio submáximas					
60-80% FCR	135-164	134-162	133-160	132-159	130-157
VO2máx.					
YMCA* (mL/min)	4200	4083	6967	3850	3733
Error (mL/min)	0	117	233	350	467
Error (%)	0	2.8	5.6	8.3	11.11

Considerando lo anterior, Robergs y Landwehr revisaron, en el mismo artículo, 30 ecuaciones diferentes planteadas en la literatura para predecir la FCmax considerando la edad, hallando grandes variaciones de R^2 , del orden de entre 0.04 y 0.81., con Sxy que van desde 6.4 a 21 latidos por minuto. Algunas otras ecuaciones de tipo multivariado, que consideran, además de la edad, datos correspondientes al nivel de aptitud física, tipo de entrenamiento, tipo de prueba en que se ejercita, entre otros, arrojaron R^2 de entre $r=0.73$ y 0.86. Por tanto, todas las ecuaciones revisadas no resultan suficientemente exactas para prescribir los rangos de FC de entrenamiento para un gran número de individuos.

Weineck recomienda, en la determinación de la FCmax, el uso de métodos de medición lo más objetivos posible, tales como los pulsómetros, además de la realización de tests en condiciones marco-comparables, pero también señala que, dada la amplia dispersión inter-individual de la FCmax, este valor, aún obtenido de forma directa mediante pruebas estandarizadas de esfuerzo maximal, resulta más apropiado para comparaciones intraindividuales y menos para las interindividuales (2005).

5.2. CARACTERÍSTICAS DEL ESFUERZO EN EL FUTBOL

Existe un gran número de autores que han analizado la carga interna (aspectos fisiológicos) en el fútbol. La mayoría de ellos estudiaron la evolución de la frecuencia cardiaca, del VO^2 max. y del nivel de lactato en sangre durante el transcurso de un partido.

La práctica de fútbol produce modificaciones fisiológicas cardiorrespiratorias y metabólicas. El patrón de ejercicio puede describirse como intervalado y acíclico, donde se intercalan frecuentes intervalos de breves esfuerzos físicos a alta intensidad con pausas cortas de baja intensidad (trote, caminata) y con esfuerzos a intensidades más moderadas. Los jugadores realizan tipos diferentes de ejercicios que van desde estar parado hasta una carrera máxima. Esto hace que la demanda energética no sólo sea atribuida al metabolismo aeróbico, sino también al anaeróbico. Según Ekblom (1986) el 80% de la energía consumida durante un partido, la aporta el sistema oxidativo, mientras que entre 8-18% se da por el sistema glucolítico. Las actividades predominantes comprometen al metabolismo aeróbico, pero los eventos críticos en el juego dependen de las fuentes anaeróbicas de energía. Éstos se refieren al oportunismo en la ejecución de los movimientos rápidos y cortos para ganar la pelota y movimientos ágiles para pasar a los oponentes, tales como saltar, acelerar, rematar, cambiar de dirección, etc. En un estudio con 14 futbolistas de alto nivel, Bangsbo, Norregaard y Thorso (1991) encontraron, por medio de una filmación en juegos de competencia, que la distancia cubierta durante un partido de fútbol era de $10.80 \text{ Km} \pm 0.92 \text{ Km}$ aproximadamente y descubrió que los mediocampistas cubrían un 10% más de la distancia (11.4 Km) en comparación con los defensas y delanteros, aunque no encontraron diferencias significativas en la intensidad de carrera entre las distintas posiciones. Otros autores concuerdan con lo anterior en cuanto a la distancia cubierta durante el juego, e incluso

Krustup y Bangsbo (2001) lograron demostrar que un árbitro central, recorría una distancia similar a la de los futbolistas, durante el juego: 10.07 ± 0.13 Km.

El fútbol ha sido descrito como un juego híbrido (Kirkendall, 1985) ya que se realizan esfuerzos de máxima intensidad y corta duración (Ekblom, 1986) que pueden alcanzar los $30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ (Bangsbo, 1991) hasta mínimos esfuerzos como pasear o estar parados en algún momento del juego.

5.2.1 FRECUENCIA CARDIACA

Por su asequibilidad y por la posibilidad de obtener datos continuos a lo largo del juego, la FC es un indicador usado con frecuencia en la valoración de la respuesta fisiológica y la carga de trabajo de los futbolistas en situaciones de campo tanto en entrenamiento como en competencia. Los equipos modernos para registrar la FC constan habitualmente de un transmisor con cinta alrededor del tórax y de un receptor en forma de reloj digital que se puede colocar en diversos sitios que no causen molestias ni interferencias en el rendimiento del jugador (García y Ardá, 2005).

5.2.1.1 Frecuencia Cardíaca Promedio. Una revisión de estudios sobre la FC promedio de los futbolistas en competencia arrojó un rango de entre 80% y 93% de la FCmax (García y Ardá, 2005, Tabla 3), no especificándose si esta última fue establecida mediante prueba de esfuerzo o usando fórmula de predicción.

Scaglioni (2000) halló valores similares: entre 83 y 91% de su FCmax como promedio durante todo el partido, y además encontró que el jugador pasa más de la mitad del tiempo de juego a una intensidad superior al 85% de su FC máx. Chamoux (1988), encontró que la FCprom a lo largo del partido se sitúa en el 90% de la Fc max, siendo la media observada de 175 puls/min.

Tabla 3. FCprom de futbolistas en competencia (modificado de García y Ardá, 2005).

<i>Autor</i>	<i>FC media (% de la FC máxima)</i>
Seliger, 1968	80%
Agnevik, 1970	93%
Potiron-Josse y cols, 1980	± 90%
Ekblom, 1986	80 – 90%
Van Gool y cols, 1988	84.9 - 86.7%
Chamoux y cols, 1988	90%
Fornaris y cols, 1989	80 – 91%
Jiménez y cols, 1993	81 – 83%
Castellano y cols, 1996	87.11% ± 2.09
Nogués Martínez, 1998	80.74% ± 3.89
García y Ardá, 2005	87.65% ± 2.55

Deroanne (1971, citado por Gonzálo-Prieto, 2006) observó valores cercanos a 170 p.p.m. Estos resultados fueron confirmados por Agnevik (1970), Ekblom (1986), Fornaris, Vankersschaver, Vanuxem, Zakarian, Commandre, y Vanuxem (1989), Vangool (1989), sin embargo Bruyn-Prevost y Thillens (1982) obtuvieron 162 p.p.m.

La mayoría de los estudios coinciden en que la FC oscila en torno a las 170 puls/min como promedio durante un partido, suponiendo un 85% de la FCmax durante 2/3 de la competición (Pineda y Torres, 2011).

5.2.1.2 Frecuencia Cardíaca Máxima. En numerosos trabajos (Smodlaka, 1978; Ekblom, 1986; Astrand y Rodahl, 1986; Soares, 1988; Rohde & Espersen, 1988; Chamoux, Fellmann, Mombaerts, Catalina et Coudert, 1988; Bosco, 1991; Pirnay, Geurde y Marechal, 1993; Bangsbo, 1998; Godik y Popov, 1998; Nogues Martínez, 1998) se ha demostrado que los valores de FC en competencia son variables, y registran ciertas oscilaciones importantes, algunas de las cuales alcanzan picos de FC máxima.

Estos datos ponen en evidencia que un partido de fútbol representa una exigencia variable pero cercana a intensidad submáxima (Ferreira, 2002).

González Cabrero (1996) determinó que la F.C. máx. es $184,94 \pm 8,16$ de media. Castellano (1997) obtuvo valores cercanos a 190, $13 \pm 4,22$, muy similares a los encontrados por Cazorla (1991, citado por Gonzalo-Prieto, 2006). Nogues Martínez (1996) encontró que la F.C. máx. era de 202 p.p.m. Pirnay, Geurde y Marechal (1993) observaron que durante el transcurso de un partido la FCmax evolucionaba de la forma ilustrada en las Figuras 4 y 5.

5.2.1.3 Frecuencia Cardíaca del primer al segundo tiempo de juego. Varios autores han encontrado una ligera disminución de la FC media en los jugadores al pasar del primer al segundo tiempo de juego (De Bruyn-Prevost et Thillens, 1983; Van Gool, Van Gerven & Boutmans, 1988; Ali & Farrally, 1991b; Jiménez, Mendiluce y Ostolaza, 1993; Pirnay, Geurde y Marechal, 1993; Bangsbo, 1994; Ferreira, 2002). Bangsbo (1992), observó el comportamiento de la Fc en partidos de competición, encontrando una media de 164 lpm en la primera parte y 154 puls/min en la segunda.

PARTIDOS AMATEURS				
FRECUENCIA CARDÍACA MÁXIMA				
PRIMER TIEMPO 189	↕	DESCANSO 111	↕	SEGUNDO TIEMPO 184
FRECUENCIA CARDÍACA MÍNIMA				
PRIMER TIEMPO 138	↕	DESCANSO 89	↕	SEGUNDO TIEMPO 136
PARTIDOS PROFESIONALES				
FRECUENCIA CARDÍACA MÁXIMA				
PRIMER TIEMPO 188	↕	DESCANSO 106	↕	SEGUNDO TIEMPO 185
FRECUENCIA CARDÍACA MÍNIMA				
PRIMER TIEMPO 137	↕	DESCANSO 93	↕	SEGUNDO TIEMPO 133

Figura 4. Cambios en la FC del primer tiempo de juego al descanso, y de éste al segundo tiempo.

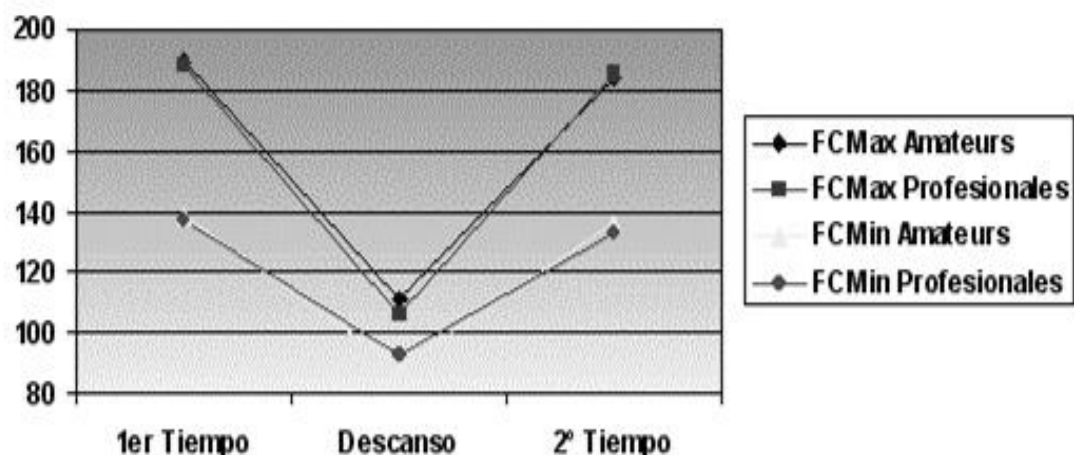


Figura 5. Comparación de indicadores selectos de FC entre jugadores profesionales y amateurs.

Nogués (1998) obtuvo los siguientes datos durante un partido oficial: valores medios durante el primer tiempo entre 151 y 171 lpm, correspondientes a intensidades de 72,7 y 87,5% respectivamente; en el segundo tiempo, entre 146 y 164 lpm, lo que equivale a intensidades de entre 69,1 y 82,3% respectivamente.

Pirnay, Geurde y Marechal (1993) consideraron que la F.C. media durante un partido alcanza valores próximos a $167 \pm 3,9$ p.p.m. Disminuye en el segundo tiempo 2,3 p.p.m. de media. Además el 90% del tiempo, la F.C. es inferior a 170 p.p.m.

Fornaris y col. (1989), por el contrario, hallaron un ligero aumento en la media de FC en el segundo tiempo, aunque esta diferencia no resultó significativa ($x = 169 \pm 10$, en el primer tiempo y $x = 170 \pm 8$ en el segundo). Estas frecuencias correspondieron a valores entre 80% y 91% de la FCmax determinada ésta en una prueba de esfuerzo en cicloergómetro (193 ± 3). Valores parecidos presentan los estudios de Pirnay, Geurde y Marechal (1993): $x = 167 \pm 4$ y Potiron- Josse y col (1980), los cuales describen FCprom de entre 178 y 179 lpm para cada periodo de partido.

5.2.1.4 Frecuencia Cardíaca, Situaciones de Juego y Posiciones Tácticas. Segura y Gorjón detallaron (1998) las condiciones que ejercen influencia en la carga específica durante un partido en los juegos colectivos en general:

1. El espacio, cuyo aumento hace incrementar la carga de trabajo.
2. El número de jugadores, cuyo aumento disminuye sensiblemente la carga del ejercicio.
3. La actitud, elemento que siempre está presente y que es determinante en la intensidad del ejercicio.
4. La complejidad de la tarea, en el sentido de que a mayor complejidad de ésta, se producirá un incremento de la carga.
5. La duración, cuyo aumento producirá un incremento de la carga.

De estas consideraciones se desprende que estas condiciones se deberán respetar para poder reproducir en diferentes sesiones los mismos niveles de intensidad.

Nogués señaló (1998) que existen numerosos factores que pueden alterar la respuesta cardíaca durante el partido de fútbol, y, por tanto, la homogeneidad de un estudio de la FC en este deporte: dimensiones del terreno de juego, evolución del marcador, puesto específico, planteamiento táctico, características del terreno de juego, condición física del jugador, interrupciones, inferioridad numérica, entre otros.

La mayoría de los estudios coinciden que los *sprints* cortos y los *dribblings* contribuyen directamente a la elevación de la FC. De la misma forma, los periodos de recuperación son cortos y las FC más bajas varían entre 120 y las 150 puls/min. Grosgeorge (1990), distinguió comportamientos diferentes en función de la colocación en el equipo. Según

sus datos, los delanteros tienen una FC inferior a 160 pul/min durante la mayor parte del partido, consiguiendo valores superiores a 180 puls/min durante más de 9 minutos. Los centrocampistas, por su parte, presentan una FC de entre 160 y 180 puls durante la mayor parte del partido.

En otros reportes se han observado también diferencias significativas en las demandas fisiológicas de los jugadores en función de la demarcación ocupada dentro del sistema táctico del equipo (Pablos y Huertas, 2000). Algunos estudios han descrito que los centrocampistas mantienen más tiempo sus valores de FC constantes, es decir, presentan menos oscilaciones que los valores de FC de los delanteros y defensas (Kacani y Horsky, en Sanuy, Peirau, Biosca y Perdrix, 1995; Pirnay, Geurde y Marechal, 1993; Godik y Popov, 1998; Mombaerts, 2000), y los defensas centrales son los que presentan valores de FC media más bajos en el partido (Ali & Farrally, 1991b; Castellano, Masach y Zubillaga, 1996; Godik y Popov, 1998; Nogués Martínez, 1998; Ferreira, 2002).

En general, las acciones técnicas provocan un incremento de la FC (Gonzalo-Prieto, 2006), siendo menor en las acciones técnicas ofensivas que en las defensivas. Las acciones explosivas de los gestos técnicos elevan la FC por encima de 150 lpm

5.2.1.5 Frecuencia Cardíaca entre diferentes niveles de juego y edad. La literatura ofrece resultados variados en cuanto a este apartado. Por ejemplo, aunque Pirnay, Geurde y Marechal (1993) no encontraron diferencias significativas entre la FCprom de juego de profesionales y amateurs, Ferreira (2002) halló que la FCprom en una muestra de jugadores juveniles de categoría Nacional y Regional fue más elevada en los jugadores de mayor nivel competitivo, sugiriendo que la competencia de mayor nivel induce una mayor sollicitación fisiológica de los jugadores.

En este ámbito, Nogués Martínez (1998) no encontró diferencias significativas en los valores de FC de los jugadores entre los partidos de competición jugados como local y los jugados como visitante, en jugadores no profesionales

Barbero (2004) con el propósito de controlar y analizar el comportamiento de la FC en competencia en jugadores profesionales de fútbol de salón, registró, mediante monitores de ritmo cardíaco, cinco partidos en diferentes momentos de la temporada, correspondientes al inicio, la mitad y al final de la misma. En valores absolutos, la media de FCmax fue de $192.1 \text{ lpm} \pm 0.8$; la FCprom fue de $172.9 \text{ lpm} \pm 4.0$; la FCmin promedio fue $118.8 \text{ lpm} \pm 11.1$. En valores relativos, derivados de relacionar la FCprom con el valor de FCmax individuales, el resultado es que la FCprom supone el 89,5 % de la FC máxima. La FC no suele situarse por debajo de 150 latidos, permaneciendo el 25.7 % del tiempo entre 150 y 170 lpm y alcanzando valores superiores a 170 latidos el 67.4 % del tiempo de participación. El 1.8% del tiempo los jugadores se encontraron por debajo del 65% de su FCmax, el 18.0 % entre el 65% y el 85% de la FCmax, y el 80.7% del tiempo por encima del 85% de la FCmax. Barbero consideró que tales datos parecen demostrar una poderosa contribución del metabolismo anaeróbico en las exigencias solicitadas por la competición a los jugadores de esta especialidad.

Según Jiménez (1993), en un estudio con futbolistas juveniles durante un partido, incluyendo al portero, encontró FCprom de 160 lpm (81% de la FCmax) y de 161 (82,25% de la FCmax) al excluir del promedio al guardameta. García Ocaña (1994) encontró que la F.C. en los porteros oscilaba alrededor de las 130 lpm en el total de tiempo reglamentario, con medias por tiempo de juego de 131 lpm en el primero y 121 lpm en el segundo).

5.2.1.6 Valoración de la Intensidad a través de la Frecuencia Cardíaca. Meléndez señaló (1995) que, dentro de un cierto rango de valores, se puede utilizar la FC para representar la intensidad del ejercicio, dado que es posible obtener una relación lineal entre ella y otras variables fisiológicas relativas a la carga interna. Al igual que otros parámetros, como por ejemplo, el consumo de oxígeno, para que la FC sea representativa de la intensidad del esfuerzo es necesario que se haya alcanzado una estabilización pasados algunos minutos de trabajo sin interrupción. Las siguientes consideraciones para evaluar la intensidad mediante la FC son fundamentales en la práctica:

1. Estado de entrenamiento: para una determinada FC, el deportista con mejor estado de entrenamiento muestra una capacidad de trabajo mayor (es el sustento de pruebas como el PWC170).
2. Género: a una misma intensidad de trabajo, los valores de la FC son mayores en la mujer que en el hombre, alrededor de 10 lpm más en la mujer.
3. Etapa de entrenamiento: considerando al mismo sujeto o grupo, se produce un desplazamiento de las curvas hacia la derecha, de forma que con el entrenamiento se produce una disminución del incremento de la FC para una misma intensidad de trabajo.
4. Edad: sin establecer una relación lineal, la tendencia observable es que en los adultos la FC para una misma intensidad es menor que en los sujetos más jóvenes (Meléndez, 1995).

El entrenamiento de la resistencia específica en los deportes de conjunto se realiza comúnmente mediante el método continuo variable, con constantes cambios de velocidad, por lo que la manera más efectiva de controlar la intensidad en la práctica es a través de la FC. Solé da el siguiente ejemplo usando la fórmula de Karvonen:

$$\text{Intensidad Relativa (\%FC)} = \frac{\text{FC de trabajo} - \text{FC basal}}{\text{FCmax} - \text{FC basal}} \times 100$$

Un jugador de handball cuya FC basal es de 60 lpm, FCmax de 200 lpm, realiza un ejercicio de defensa que arroja una FCprom de 185 lpm. La intensidad relativa del ejercicio realizado, en función de su FC es:

$$\text{Intensidad Relativa (FC)} = \frac{185 - 60}{200 - 60} \times 100 = 89\%$$

En algunos deportes colectivos existen clasificaciones de los ejercicios específicos en función de la intensidad que comportan, evaluada a través de la FC. Un ejemplo lo podemos observar en la propuesta de Godik y Popov (1998, tabla 4). En este sentido, es importante no olvidar que en los deportes colectivos, a diferencia de los deportes individuales, la FC, y por tanto, la intensidad, está influenciada por numerosos factores, algunos de ellos listados anteriormente

Barbosa y col. (2002), realizaron un estudio que tenía como propósito verificar la relación establecida entre los porcentajes (50%, 60%, 70% y 80%) de la ecuación de la FC de reserva y los porcentajes correspondientes de la FC en función del VO2max. La investigación se realizó con 53 estudiantes universitarios entrenados de 21.25±2.83 edad, con un promedio de VO2max relativo de 55.73±8,10 ml/kg.min. Los resultados obtenidos (Tabla 5) demuestran que la FC de reserva tiende a subestimar de forma significativa ($p<0.05$) la FC en relación con el %VO2 en todos los porcentajes analizados.

Tabla 4. Ejercicios Específicos para Fútbol y sus rangos de FC.

Nº	Tipo de ejercicio	Condiciones de ejecución	Tamaño superficie	FCC lat/min
1	Ejercicio jugado 3x3	A una portería, personalmente cada uno con un comodín	60x40	138-166
2	Ejercicio jugado 4x4	En dos toques	60x40	140-158
3	Ejercicio jugado 4x4	Sin limitaciones	60x40	125-147
4	Ejercicio jugado 4x4	Sin limitaciones	30x20	128-144
5	Ejercicio jugado 4x4	Sin limitaciones	40x30	141-157
6	Ejercicio jugado 4x4	Con sobrecarga (jugador en los hombros)	20x10	138-181
7	Ejercicio jugado 5x5	Sin limitaciones	60x40	151-184
8	Ejercicio jugado 5x5	Sin limitaciones	30x20	136-154
9	Ejercicio jugado 5x5	Con un comodín	40x30	125-155
10	Ejercicio jugado 5x5	Con un comodín en dos toques	60x40	120-174
11	Ejercicio jugado 6x6	Sin limitaciones	60x40	145-182
12	Ejercicio jugado 6x6	Sin limitaciones	40x30	135-170
13	Ejercicio jugado 6x6	Sin limitaciones	40x30	120-151
14	Ejercicio jugado 6x6	Con realización de un cabezazo	60x40	140-160
15	Ejercicio jugado 6x6	Con un comodín	60x40	128-153
16	Ejercicio jugado 6x6	En dos toques	110x60	141-172
17	Ejercicio jugado 6x6	En dos toques	60x40	144-177
18	Ejercicio jugado 7x7	Sin limitaciones	60x40	142-170
19	Ejercicio jugado 7x7	Sin limitaciones	40x30	135-155
20	Ejercicio jugado 7x7	Sin limitaciones	30x20	132-156
21	Ejercicio jugado 7x7	En dos toques	60x40	156-182
22	Ejercicio jugado 7x7	En dos toques	30x20	142-172

Tabla 5. Relación entre los porcentajes de la FC de Reserva y de FC en función del VO2max.

VARIABLES	MEDIA Y DESVIACIÓN	ERROR (Puls)
50% Fc (VO2max)	133 \pm 9,4	8,89 puls
50% Fc Reserva	126 \pm 6,9	
60% Fc (VO2max)	146,5 \pm 10,5	9,83 puls
60% Fc Reserva	139,7 \pm 6,8	
70% Fc (VO2max)	159,2 \pm 9,7	8,95 puls
70% Fc Reserva	152,8 \pm 6,9	
80% Fc (VO2max)	171,8 \pm 8,1	6,92 puls
80% Fc Reserva	165,8 \pm 7,1	

El estudio concluye indicando que la ecuación de la FC de reserva conlleva una baja precisión para la prescripción de ejercicios aeróbicos ejecutados a porcentajes submáximos y que sería interesante aplicar un índice corrector.

5.2.2 CONSUMO DE OXÍGENO

Han sido muy numerosos los intentos de conocer la aportación del metabolismo aeróbico a la producción total de energía en el fútbol mediante el análisis del Consumo de Oxígeno (VO2), pese a que en la actualidad, a pesar de que se dispone de la telemetría, sus conclusiones no son aún del todo fiables. La valoración del consumo de oxígeno es una forma de controlar la intensidad, principalmente en los deportes de resistencia aeróbica. Generalmente, en estas disciplinas se asocia que, a mayor cantidad de oxígeno consumido por unidad de tiempo, mayor es la intensidad que comporta la actividad que se realiza.

El problema de controlar la intensidad a través del VO2 en la mayoría de los deportes de oposición es que requiere de un analizador de gases, y generalmente este instrumental es de laboratorio y no permite especificidad.

En la actualidad, la fisiología del deporte dispone de analizadores telemétricos (K4, Cortex) que hacen posible valorar el VO₂ en manifestaciones de resistencia específica (con balón y con toma de decisiones). En esta línea, destaca el trabajo de Kawakami, Nozaki, Matsuo y Fukunaga (1992), quienes valoraron con el K2 diversos ejercicios utilizados frecuentemente en el entrenamiento del fútbol (3 contra 1, 1 contra 1) y cuyos consumos oscilaron entre 2 y 4 l/min. Esta forma de controlar la intensidad presenta problemas en los deportes de conjunto, pues no son disciplinas 100% aeróbicas. El sistema anaeróbico aláctico ocupa un rol muy importante. Por tanto, serviría básicamente para controlar la intensidad del entrenamiento de la resistencia aeróbica. Puede resultar útil para controlar la intensidad tanto de la resistencia general como de la específica (con técnica, toma de decisiones y de juego). El problema en la resistencia específica es que el analizador de gases telemétrico es caro y delicado y en estos deportes son frecuentes los golpes, forcejeos. Se recomienda este material para testar y no para control diario ni de Competencia oficial.

En cuanto al máximo consumo de oxígeno (VO₂max) de los futbolistas profesionales, Rodríguez (1996) encontró un rango de 54 a 70 ml/kg./min. (59,73 ml/kg./min. en promedio) similar al encontrado por Reilly (1990) y Bangsbo (1994) (55-70 ml/kg./min.). Astrand y Rodahl (1986) registraron una media de 58,6 ml/kg./min. Ekblom (1986) obtuvo valores superiores (61 ml/kg./min.), coincidentes con los encontrados por Withers, Roberts y Davies (1977) (62 ml/kg./min.), Nowacki, Cai, Buhl, y Krummelbein (1988) (62 ml/kg./min. la selección nacional alemana y 58,3 ml/kg./min. la selección nacional austriaca).

Sobre el VO₂ en competencia, algunos estudios (Smaros, 1980; Van Gool, 1988; Bangsbo, 1992) han encontrado correlación entre el VO₂ max. y la distancia recorrida durante un partido. Rodríguez. (1996) encontró, mediante la utilización de un método

directo (analizador de gases portátil K2) valores próximos al 64 % del VO₂ máx. durante el transcurso de un encuentro. Karpman (citado por Gonzalo-Prieto, 2006) elaboró una tabla en la que se reflejan los niveles necesarios de VO₂ para los futbolistas profesionales en relación con su peso (tabla 6).

Tabla 6. Valores de VO₂max relativo al peso corporal y su valoración cualitativa para futbolistas profesionales.

PESO (en kg.)	VALORACIÓN DEL VO ₂ (ml./kg./min.)			
	Excelente	Buena	Satisfactoria	Baja
60	72	66-71,9	60-65,9	60
65	71,5	65-71,4	58,5-64,9	58,5
70	71	64-70,9	57-53,9	57
75	70,5	63-70,4	55,5-62,9	55,5
80	70	62-69,9	54-61,9	54
85	69	60-68,9	51-59,9	51

Mediante la determinación de la FC durante el esfuerzo es posible estimar indirectamente el VO₂ y, por lo tanto, la producción de energía aeróbica. Aun así, se recomienda evitarlo, pues la FC suele encontrarse a menudo sobrestimada (estrés emocional, etc.). Además, en las acciones breves y explosivas que caracterizan el fútbol, no existe linealidad entre la FC y el VO₂. Se puede apreciar a lo largo de una temporada, cuando un jugador cae lesionado durante varias semanas, un descenso significativo en pruebas de resistencia, pero no en el VO₂max (Gonzalo-Prieto, 2006). Esto posiblemente evidencie que el VO₂max no es determinante en el fútbol, aunque es interesante conocer el porcentaje del VO₂max que coincide con el umbral anaeróbico del jugador y cuánto tiempo emplea en alcanzarlo y mantenerlo.

5.2.3 SUSTRATOS Y GASTO ENERGÉTICO

El elevado nivel de producción de energía aeróbica en el fútbol y la acusada movilización de energía anaeróbica durante ciertos períodos del partido favorecen el consumo de grandes cantidades de sustratos. Durante el transcurso de un partido suele

aparecer una ligera hiperglucemia en sangre, y sólo en muy raras ocasiones aparecen casos de hipoglucemia, por lo que podemos concluir que el hígado libera la suficiente cantidad de glucosa como para mantener sus niveles elevados durante todo el partido. Saltin (1973) observó que la cantidad de glucógeno muscular era de 96 mmol/kg antes del partido, de 32 mmol/kg en el descanso y de 9 mmol/kg al finalizar el encuentro. Si se realizaba el día antes del partido un esfuerzo intenso que disminuyera los niveles de glucógeno, se podía observar que al terminar la primera parte, estos niveles estaban prácticamente bajo mínimos. Bangsbo (1994) encontró que la concentración de ácidos grasos en sangre aumenta durante un partido de competición y más durante el segundo tiempo. En ese mismo estudio comentó que el papel de las proteínas en el metabolismo del fútbol no está muy claro, pues la oxidación de las proteínas (en estudios de ejercicios continuos cuya media de intensidad y duración son similares al fútbol) puede llegar a contribuir tan poco como el 10 % de la producción total de energía.

En relación con la actividad metabólica, Dal Monte Y Leonardi (1975) consideran que el requerimiento de la fuerza y actividad muscular es de tipo medio. Además comentan que, por sus características técnicas de fases irregulares en la carrera, cambios de velocidad y ritmo, se caracterizan por un consumo metabólico alternante. Pirnay, Geurde y Marechal (1993) consideraron que el jugador de fútbol realiza gran cantidad de desplazamientos en resistencia donde la energía es suministrada por el sistema aeróbico, añadiéndose numerosos esfuerzos cortos e intensos con participación del metabolismo anaeróbico aláctico, mientras que la sollicitación de la glucólisis anaeróbica es rara. Además, considera que el 90% del tiempo es empleado en actividades inferiores al umbral anaeróbico. Los ejercicios de resistencia de baja intensidad y prolongados consumen oxígeno en el metabolismo aeróbico y las contracciones más potentes, rápidas

y breves de los sprints y los saltos requieren del metabolismo anaeróbico aláctico. Los esfuerzos intermedios (de un minuto de duración aproximadamente) activan la glucólisis anaeróbica láctica. La utilización de las tres vías en el transcurso de un partido no queda clara aunque será fundamental conocer su incidencia para poder programar el entrenamiento y mejorar la condición física de los jugadores.

Jiménez (1993) también consideró, en un análisis de jugadores juveniles, que el fútbol es un deporte de marcado predominio aeróbico situando la F.C. media en valores próximos al umbral anaeróbico y que el tiempo, considerando al portero, es en condiciones aeróbicas de 79,75% y en anaeróbicas de 20,25% y de 78% y 22% sin tener en cuenta al guardameta. Aún así, considera que en los puestos de carrilero y lateral, la participación anaeróbica láctica es importante lo que debe tenerse en cuenta de cara a los entrenamientos. El puesto de medio centro también tiene una clara significación anaeróbica, aunque en este caso no parece prioritario el trabajo de la potencia aeróbica. El puesto de medio centro defensivo parece el más específicamente aeróbico. En los puestos de media punta, punta y portero existe una participación acusada del metabolismo anaeróbico aláctico, por lo que interesa trabajar la fuerza explosiva y la velocidad de reacción. En general se aprecian disminuciones del ritmo en el segundo tiempo (la F.C. media desciende un 5% y la participación anaeróbica láctica un 20%) lo que puede significar carencias en el entrenamiento.

Por otro lado, también aparecen otros esfuerzos de menor intensidad o de reposo, de muy poca duración y que no suelen permitir una recuperación total, intercalados entre los anteriores. Fox (1984) piensa que en el fútbol existe un 70% de requerimientos oxidativos y un 30% no oxidativos. Para González Cabrero (1996) la potencia aeróbica se sitúa en una zona media con relación a otras modalidades deportivas, alcanzando

intensidades de trabajo próximas al umbral anaeróbico (F.C. entre 158 y 170 pulsaciones por minuto).

5.2.4 LACTACIDEMIA

Otra posibilidad de programar la intensidad que supone un ejercicio físico se basa en el nivel de lactato producido durante el esfuerzo y medido al finalizar el mismo. Al igual que en el consumo de oxígeno, se puede establecer de forma subjetiva (pero siempre de acuerdo con los objetivos del entrenamiento de la resistencia) una escala de intensidades que relacione la intensidad con el lactato. Solé (s.a.) elaboró para tal efecto la tabla siguiente (Tabla 7).

Tabla 7. Escala de intensidades en base a la lactacidemia.

mM/l	Sistema energético	Intensidad
2-3	Aeróbico: lipólisis	Baja
4	Aeróbico: glucólisis aeróbica	Intermedia
5-8	Aeróbico-anaeróbico láctico	Media
8-12	Anaeróbico láctico	Submáxima
+12	Anaeróbico láctico	Máxima

El problema que se observa en la medición del ácido láctico en los deportes colectivos es que los valores obtenidos únicamente son indicativos del esfuerzo realizado en los 5 minutos anteriores a la toma de la muestra de sangre, y que estas mediciones no se pueden utilizar para determinar el producto energético del partido completo (Bangsbo y col. 1991). Delante de esta problemática, algunos autores han intentado fraccionar los 90' en tomas periódicas de la lactacidemia (Grosgeorge, 1990). Como demuestra este estudio, los resultados se muestran relativamente estables a lo largo del partido.

Castellano y col. (1996), en su estudio con jugadores *amateurs*, para la finalización de la primera parte (1'-2') observan un valor medio de lactato de 7,3mmol/l. Previo al inicio de la segunda parte, los valores bajaron a 4.40 mmol/l. En la segunda parte los valores obtenidos fueron de 4,8mmol/l. Los valores obtenidos 10' después de la finalización del partido se ubicaron sobre los 2.2 mmol/l.

Como indican Sanuy y col (1995) en su revisión sobre este tema, otros autores han efectuado la medición del lactato en situaciones de simulación del partido, en que se realizaban acciones de corta duración y de gran intensidad. Los resultados en estos casos evidencian valores superiores a los hallados durante el partido real: 8 y 10 mmol/l. Yagües (2002) Indica que la contribución del metabolismo anaeróbico láctico depende de la demarcación del jugador (mayor en los jugadores de banda seguidos de centrocampistas, y siendo los defensas centrales los que presentan menores valores) y a pesar de que en ciertos momentos la concentración de lactato puede ser importante en los músculos activos, las frecuentes fases de recuperación, de media y baja intensidad que se manifiestan en el juego permiten una rápida eliminación y reutilización del mismo evitando una progresiva acumulación hasta valores limitantes como sucede en otras disciplinas que no poseen fases de recuperación. En resumen, se observan unos valores de 3 a 8 mmol/l. Por otro lado, parece haber coincidencia en una menor concentración en la segunda parte, hecho normal si se tiene en cuenta que en la segunda parte la distancia total recorrida y las acciones de alta intensidad son menores en la mayoría de los partidos. De este modo, puede inferirse que los niveles de lactato que se obtienen durante un partido de fútbol, no se aproximan a los valores reales.

La mayoría de los estudios toman las muestras al final del partido o al descanso. Puede suceder que el futbolista haya permanecido inmóvil los últimos minutos (o realizando una actividad intensísima), por lo que al realizar la toma de lactato del lóbulo,

no obtendremos valores muy fiables. Sería conveniente tomar muestras después de cada acción interesante, teniendo en cuenta las acciones realizadas anteriormente a estas.

Pirnay, Geurde y Marechal (1993) consideraron que el lactato alcanza valores medios de $4,01 \pm 0,67$ mmoles de lactato en jugadores profesionales y $4,43 \pm 1,57$ mmoles de lactato en jugadores amateurs y que la lactacidemia es siempre menos elevada al final del segundo tiempo (3,02 mmoles) situándose siempre cerca del umbral anaeróbico y rebasándolo excepcionalmente (Figura 6). El 90% del tiempo la tasa de lactato es de 2 mmoles.

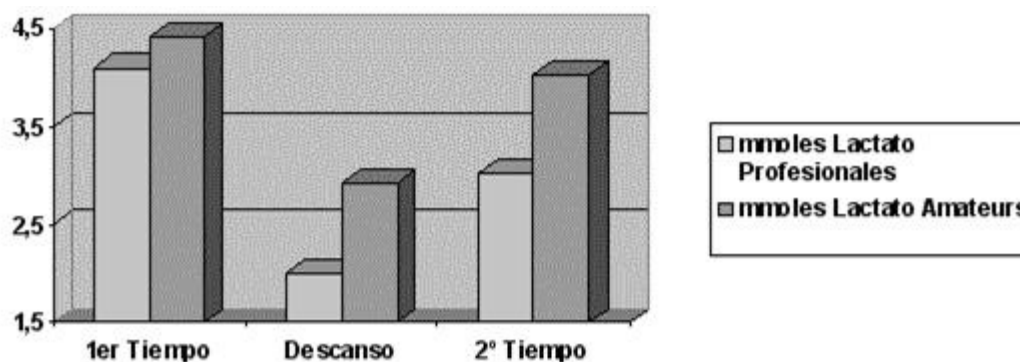


Figura 6. Concentración de lactato en jugadores de futbol de niveles professional y amateur.

Bruyn-Prevost y Thillens (1982) obtuvieron una lactacidemia próxima a los 4 mmoles (valor considerado de transición entre los metabolismos aeróbicos y anaeróbicos).

Parece claro que los futbolistas de alto nivel poseen mejor capacidad láctica, de tamponamiento de cargas ácidas, y por lo tanto presentan concentraciones menores de lactato respecto a jugadores de nivel inferior.

Resulta curioso observar que en muchos casos se produce una disminución de la concentración de lactato en la segunda parte respecto de la primera. Esto puede ser debido a una disminución de la capacidad glucolítica y una disminución del glucógeno muscular. Aún así, existen otros muchos jugadores con niveles de lactato más elevados en el segundo tiempo, por lo que no podemos concluir nada al respecto.

Lo que sí queda claro es que en la segunda parte descienden la capacidad de tamponamiento de las cargas ácidas y la utilización de la vía energética anaeróbica láctica.

Jiménez (1993) estudió los niveles de lactato según los puestos ocupados, obteniendo los valores reflejados en la Figura 7.

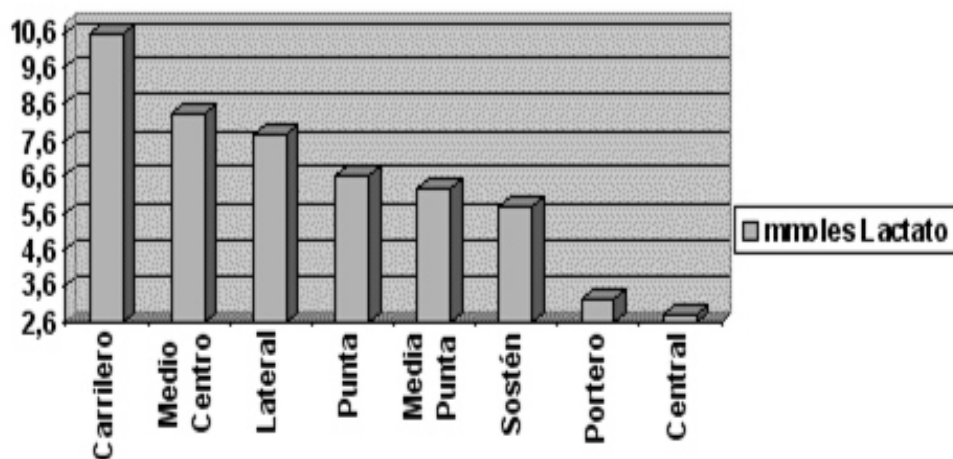


Figura 7. Comparación de la concentración de lactato por posiciones tácticas.

Por lo visto en la figura anterior, los jugadores situados en banda son los que en mayor medida utilizarán el metabolismo anaeróbico láctico, mientras que los porteros y centrales serán los que menos requieran de esta fuente energética.

6. MATERIAL Y MÉTODOS

6.1 TIPO DE ESTUDIO.

La parte fisiológica es la que atañe a este proyecto, que sirve como una base de datos, un punto de partida, y es una investigación de tipo descriptivo, no experimental.

6.2 MUESTRA.

La muestra estuvo conformada por jugadores de diferentes posiciones de nivel profesional (N=10), pertenecientes al equipo de Primera División Real España de Honduras, equipo Campeón de Liga 2006-2007, cuyas características son: edad media, 27.1 años \pm 3.14; experiencia profesional media en primera división, 9.1 años \pm 4.3; 9 de ellos han participado con la Selección Nacional Hondureña.

Tabla 8. Descripción de la Muestra y variables de partida.

No.	POSICION	EDAD	FC MAX (Fox et al)	FCMAX TEST CAMPO
1	Defensa lateral	24	196	186
2	Defensa lateral	25	195	196
3	Defensa Central	26	194	201
4	Defensa Central	27	193	200
5	Medio central	32	188	194
6	Medio central	25	195	195
7	Medio por banda	29	191	195
8	Medio por banda	27	193	188
9	Delantero Central	33	187	190
10	Delantero Central	23	197	203
Media		27.1	192.9	194.8
D.E.		3.14	3.315	5.594

6.3 VARIABLES

Se establecieron dos conjuntos de variables:

a) *Variables independientes.* Establecidas al inicio de la pretemporada previa al Torneo Clausura 2006-2007 de Honduras, este grupo consta de las siguientes cuatro variables:

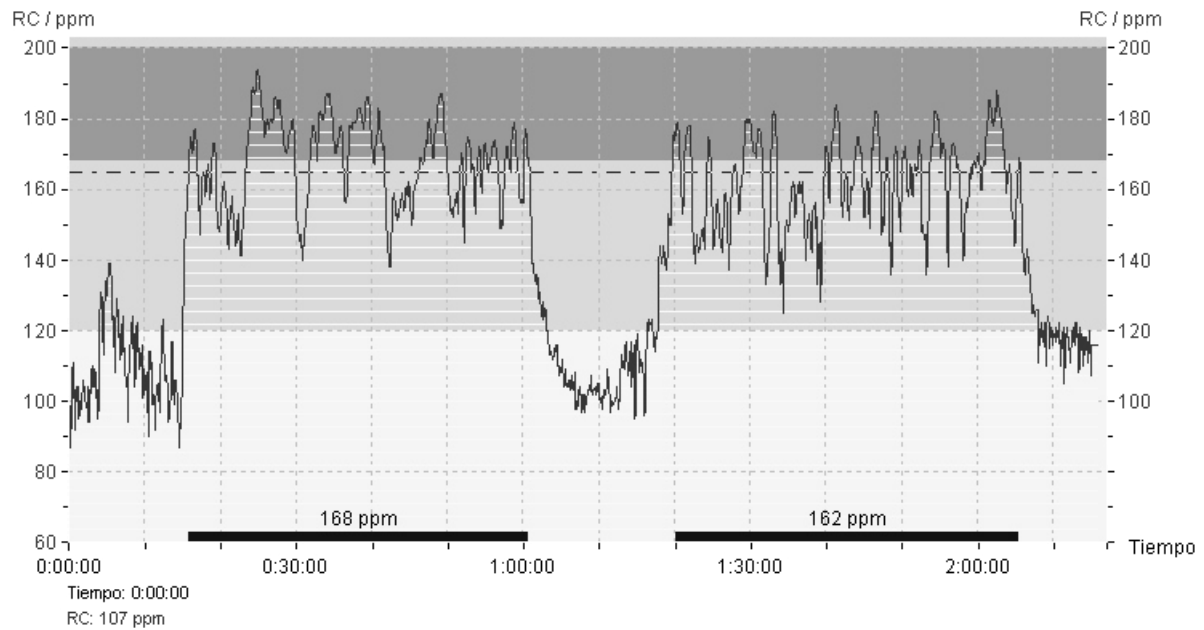
1. Edad en años de cada jugador integrante de la muestra.
2. Posición Táctica de cada jugador. Cinco posiciones, cada una con una clave numérica: 2 = “Defensa Lateral”; 3 = “Defensa Central”; 4 = “Medio Central”; 5 = “Medio por Banda”; 6 = “Delantero Central”.
3. Frecuencia cardiaca máxima teórica usando la fórmula “220 – edad en años” atribuida a Fox, Naughton y Haskell (1971).
4. Frecuencia cardiaca máxima en terreno aplicando a los jugadores de la muestra la prueba progresiva por etapas en cancha de futbol mediante una adaptación al protocolo descrito por Kindermann (Kindermann, W., Simon, G. & Keul, J. (1979). La adaptación para la cancha de futbol fue propuesta por el Dr. Luis Aguilar, catedrático de la Facultad de Organización Deportiva (FOD) de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL): en una superficie de carrera de 200m en forma de pista de atletismo teniendo marcas cada 50m para el control de la velocidad deseada. Cada etapa de la prueba tuvo una duración de 3 min, iniciando a 6 km/hr y aumentando 2 km/hr en cada etapa subsecuente. La evaluación termina cuando el atleta no es capaz de soportar la velocidad requerida.

b) *Variables dependientes (esfuerzo fisiológico en competencia).* Durante 10 partidos oficiales de liga, correspondientes al Torneo Clausura 2006-2007 de la Liga Hondureña realizados entre los meses de Enero a Mayo de 2007, incluyendo la final por el

campeonato, se registró la FC de los integrantes de la muestra para obtener las siguientes variables por jugador:

- Frecuencia cardiaca máxima registrada durante primer (FCMax1T) y segundo tiempo de juego (FCMax2T).
- Frecuencia cardiaca promedio registrada en primer (FCprom1T) y segundo tiempo (FCprom2T).
- Frecuencia Cardiaca Mínima en cada tiempo (FCmin1T y FCmin2T).

Los valores fisiológicos (frecuencia cardiaca) tanto en la prueba de Kindermann en terreno como en competencia se obtuvieron mediante pulsometría continua computarizada, utilizando el Polar Team System con 10 monitores de frecuencia cardiaca recargables, realizándose el control de la FC cada 5 segundos. En el caso de los partidos monitoreados, el registro fue realizado desde el calentamiento hasta el final del juego. Los datos fueron registrados y posteriormente procesados en una Lap-Top HP Pavilion dv2000 utilizando el programa "Polar Precisión Performance" versión 4.00.022 (Polar, Finlandia). La validación de sistemas parecidos y de menores prestaciones construidos por el mismo fabricante se ha realizado en estudios previos, como los de Leger, L., y Thiviege, M. (1988); Ali, A., y Farraly, M. (1991); Gretebeck, R.J., y col. (1991). Al cabo de cada partido, el software arroja una gráfica con el registro de la pulsometría continua (figura 8).



Persona	CARLOS DIAS	Fecha	18/01/2007	Ritmo cardíaco	165 ppm		
Ejercicio	JORNADA 1 REAL ESPANA VS OLIMP	Hora	02:57:34 p.m	Ritmo cardíaco	194 ppm		
Deporte	FUTBOL	Duración	2:16:05.0			Umbrales	120 - 168
Nota				Selección	0:15:55 - 2:05:35 (1:30:15.0)		

Figura 8. Ejemplo del control de las variables de competencia jugador Carlos Díaz equipo Real España Honduras posición medio derecho.

6.4 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO.

Se conformaron tres bases de datos en el programa SPSS Statistics 17.0 (IBM, Estados Unidos). La primera fue una base de datos con los valores de las variables dependientes; la segunda, con los valores fisiológicos recogidos a lo largo de los 10 partidos oficiales; finalmente, se compilaron los datos de las variables independientes con los valores medios de cada variable dependiente por cada jugador (Tabla 9).

Tabla 9. Base de datos para el tratamiento estadístico.

JUGADOR	EDAD	POSICION	FCMAX	FC80porc	FCmin1erT	F.C. MAX. 1r tiempo	F.C. PROM. 1r tiempo	F.C. MIN. 2o tiempo	F.C. MAX. 2o tiempo	F.C. PROM. 2o tiempo	PorcFCmin1erT	PorcFCmax1erT	PorcFCProm1erT	PorcFCmin2oT	PorcFCmax2oT	PorcFCProm2oT
8	24	2	186	164	119	182	157	115	181	154	63.00	97.00	84.00	61.00	97.00	83.00
10	25	2	196	178	142	190	174	137	189	169	72.00	97.00	88.00	69.00	96.00	86.00
5	26	3	201	180	136	191	171	129	192	166	67.00	95.00	84.00	64.00	95.00	82.00
9	27	3	200	180	142	190	169	138	189	168	71.00	94.80	84.55	69.00	94.55	83.90
6	32	4	194	180	135	189	170	133	190	170	69.00	97.00	87.00	68.00	98.00	87.00
7	25	4	195	175	133	188	168	131	187	167	68.51	96.00	86.00	67.00	95.00	85.00
1	29	5	195	168	127	190	162	122	187	158	65.13	97.00	83.00	62.00	95.00	81.00
3	27	5	188	170	128	183	164	128	179	162	68.00	97.00	87.00	67.00	95.00	85.00
2	33	6	190	165	122	178	152	117	177	150	64.00	93.00	80.00	61.00	93.00	79.37
4	23	6	203	182	156	199	182	146	198	179	76.00	98.00	89.00	71.00	97.00	87.00

A partir de la última base de datos, fueron elaboradas graficas con estadísticos descriptivos de las variables dependientes para su posterior análisis, matrices de correlaciones no paramétricas mediante Rho de Spearman (r^s) entre valores independientes para establecer relaciones entre edad y los valores de FC MAX tanto teórica como real en prueba de terreno, y se elaboró una gráfica con los valores medios de las variables de la FC por posición táctica para determinar la existencia de tendencias y zonas de intensidad del esfuerzo fisiológico diferenciadas por posición táctica.

Todos los datos obtenidos fueron comparados con lo que la literatura menciona al respecto del comportamiento de la frecuencia cardiaca en el futbol profesional.

7. RESULTADOS

7.1 RELACIÓN FRECUENCIA CARDIACA MÁXIMA TEÓRICA (FCMAXFOX) Y FRECUENCIA CARDIACA MÁXIMA EN PRUEBA DE KINDERMANN MODIFICADA (FCMAXK)

7.1.1 Relación Edad - FCmax

El índice de correlación rho de Spearman (r^s) para datos no paramétricos arroja una correlación negativa perfecta entre la edad y la FCmax estimada mediante la fórmula atribuida a Fox et al (Tabla 10). En cambio, entre la edad y la FCmax determinada en el Test de Kindermann modificado el valor de p no fue significativo y el índice de correlación es bajo ($r^s = -.327$).

Tabla 10. Matriz de Correlaciones no paramétricas Rho de Spearman entre la edad y las variables iniciales de Frecuencia Cardiaca de la muestra.

			Frecuencia Cardiaca Máxima/Edad (atribuida a Fox et al)	Frecuencia Cardiaca Máxima Test de Campo (Kindermann)
Spearman's rho	EDAD	Correlation Coefficient	-1.000**	-.327
		Sig. (2-tailed)	.	.356
		N	10	10

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

7.1.2 Diferencia FCmaxFox - FCmaxK

El valor de FCmax teórica fue inferior al real obtenido en prueba de terreno en 7 de los 10 jugadores, y superior en 2 casos. La media de latidos de error es de -1,90, con una DE de 5.34 latidos (tabla 11).

Tabla 11. Diferencia en latidos entre la FCmax obtenida por fórmula “220-edad” y en test de Kindermann modificado.

No.	JUGADOR	POSICION	EDAD	FCmax		
				FC MAX (Fox et all)	FCMAX TEST CAMPO	Diferencia (lpm)
1	8	Defensa lateral	24	196	186	+10
2	10	Defensa lateral	25	195	196	-1
3	5	Defensa Central	26	194	201	-7
4	9	Defensa Central	27	193	200	-7
5	6	Medio central	32	188	194	-6
6	7	Medio central	25	195	195	0
7	1	Medio por banda	29	191	195	-4
8	3	Medio por banda	27	193	188	+5
9	2	Delantero Central	33	187	190	-3
10	4	Delantero Central	23	197	203	-6
Media				192.90	194.80	-1.90
DE				3.14	5.31	5.34

7.2 FC EN COMPETENCIA

La tabla 12 muestra los valores medios individuales y la desviación estándar (DE) de las variables de FC en competencia, expresados en lpm. Los datos expresados en porciento de la FCmax en la prueba de Kindermann modificada se muestran en la tabla 13.

Tabla 12. Estadísticos descriptivos individuales de las variables en competencia de los jugadores de la muestra, expresados en latidos por minuto (lpm).

No.	JUGADOR	POSICION	EDAD	FC min 1er T		FC max 1er T		FC prom 1er T		FC min 2o T		FC max 2o T		FC prom 2o T	
				Media	D.E.	Media	D.E.	Media	D.E.	Media	D.E.	Media	D.E.	Media	D.E.
1	8	Defensa lateral	24	118.5	5.720	181.5	2.321	157.9	4.254	115.3	5.638	181.1	1.524	154.7	3.529
2	10	Defensa lateral	25	141.6	7.648	190.4	1.647	173.9	2.378	137.0	6.307	188.7	2.359	168.9	3.929
3	5	Defensa Central	26	136.0	8.969	191.6	4.033	170.5	4.649	129.7	9.178	192.2	3.645	166.4	3.565
4	9	Defensa Central	27	142.7	5.618	189.6	2.011	169.1	4.606	138.6	11.237	189.1	3.247	167.8	5.514
5	6	Medio central	32	135.0	11.324	189.0	1.247	169.9	3.107	133.1	8.319	190.2	2.150	169.9	3.929
6	7	Medio central	25	133.6	10.895	187.8	5.073	168.1	5.607	131.2	7.642	187.0	6.716	166.6	6.240
7	1	Medio por banda	29	127.0	8.602	189.8	4.237	162.0	5.598	122.3	2.541	186.5	3.979	158.3	4.322
8	3	Medio por banda	27	128.0	6.960	183.3	2.627	164.6	2.459	127.5	5.817	178.6	3.169	161.5	2.677
9	2	Delantero Central	33	121.6	7.367	178.4	2.591	152.4	3.777	117.5	4.994	177.0	4.320	150.8	6.070
10	4	Delantero Central	23	156.3	3.974	199.0	1.633	182.3	3.622	145.5	7.091	197.6	2.716	178.6	4.088
Muestra completa				134.03	13.078	188.04	6.228	167.07	8.932	129.77	11.390	186.80	6.979	164.35	8.885

7.2.1 Frecuencia Cardíaca Promedio (FCprom)

En la figura 9 se ilustran los promedios de los valores relativos de FC. La media de FCprom de la muestra completa fue de 167.07 y 164.35 lpm en el primer y segundo tiempo respectivamente, con DE superiores a 8 lpm en ambos casos. Expresados en porcentaje de la FCmax en la Prueba de Kindermann Modificada, la media por tiempo de juego fue de 85.62% y 84.23%, con DE que no superan el 3%.

Tabla 13. Estadísticos descriptivos individuales de las variables en competencia de los jugadores de la muestra, expresados en porcentaje de la FCmax obtenida en la prueba de Kindermann modificada.

No.	Jugador	Posición	Edad	FCMAX TEST CAMPO (lpm)	FCmin 1er Tiempo (%)	FCmin 2o tiempo (%)	FCmax 1er tiempo (%)	FCmax 2o tiempo (%)	FCprom 1er tiempo (%)	FCprom 2o tiempo (%)
1	8	Defensa lateral	24	186	63.7	61.8	97.6	97.3	84.4	82.8
2	10	Defensa lateral	25	196	72.2	69.9	97.1	96.3	88.7	86.2
3	5	Defensa Central	26	201	67.7	64.2	95.0	95.6	84.8	82.6
4	9	Defensa Central	27	200	71.0	69.0	94.8	94.6	84.6	83.9
5	6	Medio central	32	194	69.6	68.6	97.4	98.0	87.6	87.6
6	7	Medio central	25	195	68.2	67.2	96.3	95.9	86.2	85.4
7	1	Medio por banda	29	195	65.1	62.7	97.3	95.6	83.1	81.0
8	3	Medio por banda	27	188	68.1	67.8	97.5	95.0	87.2	85.9
9	2	Delantero Central	33	190	64.0	61.6	93.7	93.2	80.0	78.9
10	4	Delantero Central	23	203	76.8	71.7	98.0	97.3	89.7	88.0
Media				194.80	68.65	66.45	96.48	95.88	85.62	84.23
DE				5.31	3.83	3.42	1.40	1.38	2.72	2.76

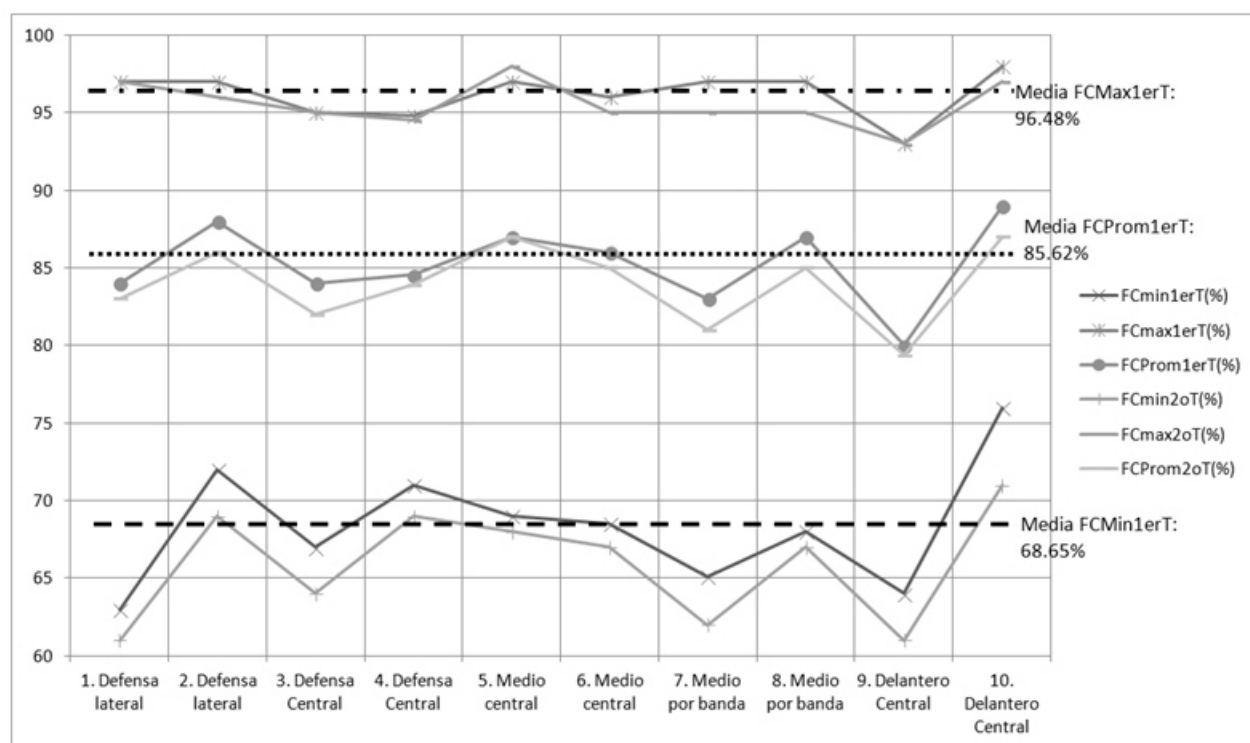


Figura 9. Gráfica de los valores medios de FC en competencia. Los valores se describen en porcentaje respecto al máximo obtenido en la Prueba de Kindermann.

7.2.2 Frecuencia Cardíaca Máxima (FCmax)

Las medias de FCmax alcanzada por partido fueron de 188.04 lpm en primeros tiempos y 186.80 lpm en la parte complementaria. En porcentaje respecto a la FCmaxK, los valores por tiempo de juego fueron 96.48 y 95.88%

La FCmax alcanzada en la prueba de Kindermann Modificada fue superior tanto a la FCmax estimada con la fórmula atribuida a Fox et al como a la registrada durante los partidos. El valor más alto alcanzado por cada jugador se señala en la columna de extremo derecho en la tabla 14. 8 de los 10 jugadores consiguieron tal registro en el primer tiempo de juego. Aunque el valor de la FCmax en competencia fue más bajo que los obtenidos de forma teórica y en prueba de terreno, la DE de ésta última es más parecida a la correspondiente a la FCmax en competencia.

Tabla 14. Comparación de los valores de Frecuencia Cardíaca Máxima teórica (Fórmula atribuida a Fox, Naughton y Haskell), real obtenida en prueba de campo (Test progresivo de Kindermann) y promedio de la frecuencia máxima en 10 partidos de liga por los jugadores de la muestra.

No.	JUGADOR	POSICION	FCmaxFox	FCmaxK	Valor más alto de FCmax en Competencia (1er o 2º tiempo)
1	8	Defensa lateral	196	186	181.5 (1erT)
2	10	Defensa lateral	195	196	190.4 (1erT)
3	5	Defensa Central	194	201	192.2 (2oT)
4	9	Defensa Central	193	200	189.6 (1erT)
5	6	Medio central	188	194	190.2 (2oT)
6	7	Medio central	195	195	187.8 (1erT)
7	1	Medio por banda	191	195	189.8 (1erT)
8	3	Medio por banda	193	188	183.3 (1erT)
9	2	Delantero Central	187	190	178.4 (1erT)
10	4	Delantero Central	197	203	199.0 (1erT)
Media			192.9	194.8	188.22
D.E.			3.315	5.594	5.578

No se hallaron correlaciones significativas entre las variables de FC en competencia y la edad, así como entre la FCmax por la fórmula atribuida a Fox et al. Por el contrario, todas las correlaciones fueron altamente significativas ($p < 0.01$) entre las variables de FC en competencia y las FC obtenidas en la Prueba de Kindermann (tabla 15).

Tabla 15. Matriz de Correlaciones entre las variables de FC en competencia (filas) y variables independientes de FC y edad (columnas).

Variable en 100 partidos		EDAD ^a	FC MAXFOX ^b	FCMAX (Kindermann Modificado) ^b
FC min 1er T	Índice	-.335	.429	.864**
	Sig.	.343	.216	.001
FC max 1er T	Índice	-.390	.471	.885**
	Sig.	.265	.169	.001
FC prom 1er T	Índice	-.457	.545	.780**
	Sig.	.184	.103	.008
FC min 2o T	Índice	-.305	.384	.797**
	Sig.	.392	.274	.006
FC max 2o T	Índice	-.372	.413	.897**
	Sig.	.290	.236	.000
FC prom 2o T	Índice	-.341	.450	.773**
	Sig.	.334	.192	.009

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

^a Índice de correlación Rho de Spearman (r^s) para datos no paramétricos.

^b Índice de correlación r de Pearson para datos paramétricos.

7.2.3 Frecuencia Cardíaca Mínima (FCmin)

La FCmin tuvo promedios de 134.03 y 129.77 lpm en primer y segundo tiempo respectivamente. Los porcentos de FCmaxK fueron 68.65% y 66.45%.

En la tabla 16 se muestra la frecuencia con que cada jugador alcanzó valores de FCmin menores a 120 lpm. La frecuencia media por jugador fue de 3.4 partidos de 10 jugados, con un rango que va de 0 a 10 partidos.

Tabla 16. Frecuencia de partidos y tiempos de juego donde los jugadores de la muestra alcanzaron valores mínimos iguales o inferiores a 120 lpm.

No.	JUGADOR	POSICION	1eros tiempos	2os tiempos	Partidos
1	8	Defensa lateral	8	9	10
2	10	Defensa lateral	0	0	0
3	5	Defensa Central	0	2	2
4	9	Defensa Central	0	2	2
5	6	Medio central	1	1	2
6	7	Medio central	0	1	1
7	1	Medio por banda	4	4	6
8	3	Medio por banda	2	0	2
9	2	Delantero Central	5	8	9
10	4	Delantero Central	0	0	0
Frecuencia total			20	27	34
Media			2.0	2.7	3.4

7.2.4 Comportamiento de la Frecuencia Cardíaca del Primer al Segundo Tiempo

En la mayoría de los casos, los valores del tiempo inicial fueron superiores a los del segundo, resultando en promedios generales igualmente superiores del primero al complementario (FCmin: 1er tiempo, 134.03 lpm; 2do tiempo, 129.77 lpm. FCmax: 1er tiempo, 188.04 lpm; 2do tiempo, 186.80 lpm. FCprom: 1er tiempo, 167.07 lpm; 2do tiempo, 164.35 lpm.). En la tabla 12 se observa que la desviación estándar (DE) de los datos de cada tiempo de juego es mayor en la FC mínima (1er tiempo, 13.078 lpm; 2do tiempo, 11.390 lpm) y menor en la FCmax. (1er tiempo, 6.228 lpm; 2do tiempo, 6.979 lpm).

Al igual que la tabla con los datos expresados en lpm, se aprecia un descenso en los valores del segundo tiempo respecto al primero (FCmin: 1er tiempo, 68.65%; 2do tiempo, 66.45%. FCmax: 1er tiempo, 96.48%; 2do tiempo, 95.88%. FCprom: 1er tiempo, 85.62%;

2do tiempo, 84.23% lpm.). También está presente la dinámica vista en la DE: mayor en la FCmin (1er tiempo, 3.83%; 2do tiempo, 3.42%), menor en la FCmax (1er tiempo, 1.40%; 2do tiempo, 1.38%).

8. DISCUSIÓN

La presente investigación sigue la línea marcada por otros autores, con la peculiaridad de haber dado seguimiento mediante pulsometría continua durante 10 partidos oficiales a una muestra de 10 jugadores campeones de liga de futbol profesional, a diferencia de muchos estudios referidos en la literatura donde o bien se registró el comportamiento de la frecuencia cardiaca en futbolistas no profesionales, o en partidos de entrenamiento, o en uno o dos partidos oficiales por jugador.

Un análisis a los datos obtenidos otorgan argumentos estadísticos para invalidar de forma definitiva la utilización de la fórmula “ $220 - \text{edad}$ ”, atribuida a Fox et al, tanto en la evaluación y dosificación de la preparación física como en el control y análisis del esfuerzo en competencia en el Futbol profesional. En primer lugar, la baja y no significativa correlación entre la edad y la FCmaxK indica que la edad no es un indicador fiable para estimar la FCmax real del jugador. En segundo lugar, los valores estimados de forma teórica fueron inferiores a los reales en la Prueba de Kindermann en el 70% de los jugadores. La DE de la diferencia FCmaxFox vs FCmaxK sugiere que el error en la estimación supera por mucho los 3 lpm mencionados en el marco teórico como el “error

aceptable” para fines de valoración y dosificación, principalmente para la estimación del VO₂max. Dado que la medición directa de este último indicador fisiológico no es posible en el terreno en el fútbol, obtener la FCmax de manera precisa es fundamental para la orientación científica del entrenamiento.

Los valores medios de FC registrados en competencia tanto absolutos (lpm) como en porcentaje de la FCmax real, fueron muy similares a los reportados en la literatura, aun cuando la mayoría de ellos no reunió las condiciones específicas y de frecuencia de partidos de la presente. Esto supone que los partidos de fútbol profesional, aún caracterizados por la variabilidad de acciones, se distinguen por tendencias típicas de los esfuerzos causados por las tareas y situaciones técnico-tácticas propias de su dinámica.

La cantidad de partidos y jugadores controlados para este reporte permite analizar, aparte de la medida de tendencia central por excelencia (la media), un importante valor de dispersión: la Desviación Estandar (DE). A este respecto, es notable una tendencia hallada al analizar cada variable en competencia: tanto de forma absoluta como relativa, la DE de la FCmax en primeros y segundos tiempos es menor a la de la FCprom, y ésta a su vez es menor que la DE de la FCmin. En la figura ___ tal dinámica se aprecia de manera gráfica por la separación de los puntos en sentido vertical de cada variable.

La menor DE de la FCmax describe no el volumen de esfuerzos máximos en un partido, sino que al menos un esfuerzo de alta intensidad, superior al 95% de la FCmax individual real, es realizado en cada tiempo de juego. Es sabido que en la mayoría de los deportes, se busca alcanzar mayores intensidades de carga que las exigidas en competencia para asegurar que los deportistas puedan lograr un alto rendimiento

expresado en la repetición de sus mejores desempeños técnico-tácticos, lo cual es válido para un deporte estocástico lleno de situaciones variables de gran exigencia coordinativa y alta velocidad. Relacionando el valor de referencia de cada jugador con el porcentaje y la DE encontradas, y considerando que los jugadores estudiados fueron los Campeones de la Liga, se deduce que su preparación correspondía favorablemente a la intensidad de juego necesaria para lograr el resultado mencionado, y con ello es posible sugerir objetivamente un nivel de intensidad “límite” para el entrenamiento en el fútbol.

Como era de esperarse, la FCmaxK tuvo correlación positiva significativa ($p < 0.01$) con la FCmax en competencia, pero hubo correlaciones similares con la FCmin., y ligeramente menor pero igualmente significativa con la FCprom. La interpretación de estas correlaciones puede ser “en un equipo de futbolistas de alto rendimiento jugando a alto nivel, la diferencia inter-sujetos entre valores de una misma variable de FC está relacionada mayormente con la FCmax real individual, y no con diferencias de esfuerzo entre los jugadores”. De esta forma, contar con el valor real de FCmax se convierte en un parámetro de referencia obligado en la precisa y justa valoración del rendimiento de cada jugador basado en el esfuerzo desplegado en competencia. Así, la elevada y significativa correlación entre la FCmaxK y las medias de las tres variables controladas de FC en competencia permiten reforzar la utilidad de la prueba de Kindermann para caracterizar al jugador en relación a la exigencia competitiva.

Por otro lado, la DE de la FCmin., cuyos promedios fueron 68.65% en el primer tiempo y 66.45% en el segundo, que equivale a 130 lpm para un sujeto cuya FCmax sea de 200 lpm, indica que los jugadores alcanzaron en muy pocas ocasiones frecuencias cercanas a los 120 lpm, valor teórico de recuperación según la literatura. Esto puede dar

la pauta para proponer también valores de intensidad mínimos a los que debe llegar el futbolista que aspire al profesionalismo. Mantener la FC arriba de estos valores sugiere que el jugador actúa en condiciones de fatiga parcial, pero como se señaló en el marco teórico, la exigencia psicológica y técnica de un partido, sobre todo en el fútbol profesional, demanda al jugador estar, fisiológica y psíquicamente, listo para la acción en cualquier momento, lo que no siempre se logra en condiciones controladas de laboratorio y aún en pruebas de terreno no totalmente específicas. Estas son condiciones a considerarse en el diseño de la preparación física y del programa de entrenamiento en general, no esperando entonces que el futbolista disponga frecuentemente de oportunidades para recuperarse cerca de los 120 lpm entre acciones durante los partidos para poder sostener el ritmo de juego.

Otro de los aspectos más referidos en la literatura es el de las diferencias entre la FC del primer al segundo tiempo de juego. Los datos obtenidos coinciden con lo señalado en la literatura en cuanto a la disminución de uno a otro para las tres variables controladas, explicable como se mencionó en el marco teórico: debido a la depleción de glucógeno, mismo que limita la capacidad láctica, que es la responsable de la subida de la FC hasta los límites superiores. Es probable que un análisis *Time-Motion* correlacionado con el porcentaje de disminución de la FC ilustre que la frecuencia de acciones de alta intensidad disminuye también en el segundo tiempo de juego.

La medición durante 10 partidos por jugador permite observar que, aunque hay diferencias grandes en la FC de un jugador a otro incluso en estas variables aun expresadas en forma de porcentaje, los valores promedio de cada sujeto fueron muy similares del primer al segundo tiempo, reduciéndose alrededor de 1% la FCmax y la

FCprom, y poco más del 2% la FCmin. Ello puede interpretarse como una exigencia muy constante tanto del partido hacia el jugador según su puesto táctico, como también un ritmo individual sostenido por cada jugador; cada futbolista fue capaz de sostener el ritmo de juego con una disminución relativamente pequeña de la respuesta cardíaca.

Una inferencia que puede hacerse de los datos anteriores es que, en cuanto a los métodos de entrenamiento, el método interválico es el que más similitud tiene con la exigencia a que se ven sometidos los jugadores en el campo. El método de repeticiones, por tanto, no corresponde a la especificidad en el profesionalismo. En la formación de jugadores jóvenes el método de repeticiones es importante, pero una exigencia semanal como la registrada, característica de las ligas profesionales, requiere mayormente de métodos donde se alternan cargas intensas con recuperaciones incompletas.

Los valores medios de las tres variables de FC en competencia, gráficamente, permiten ubicar al menos dos zonas de intensidad de juego tomando como límites los valores mínimos, medios y máximos. Sin embargo, al menos cada “zona” puede subdividirse basado en lo referido en la literatura: entre la media de FCprom y FCmax, debe hallarse el Umbral Anaeróbico, mismo que en el presente trabajo no se buscó. Si en un trabajo posterior, con una muestra similar y al menos la misma cantidad de partidos controlados en la presente, se ubicara este umbral, podrían determinarse de forma muy precisa niveles de intensidad submáximo (superior al promedio y antes de superar el umbral anaeróbico) y máximo (por encima del umbral anaeróbico, donde se considera que la lactacidemia se disparará potencialmente hasta valores máximos).

En cuanto a la zona entre las medias de FCmin y FCprom, se observa que tanto su dispersión como el intervalo entre ambas son mayores. Por esa razón, pueden también subdividirse en una zona de intensidad media (debajo del promedio pero no muy por debajo de su dispersión) y otra de intensidad mínima de juego (fuera del rango de dispersión de la FCprom pero no más bajo que la media de FCmin).

Las zonas descritas se ilustran en la Figura 10. Estas zonas, por ahora teóricas, podrían ser una referencia de gran relevancia para la orientación del entrenamiento, como intensidades determinantes para el éxito en los partidos de nivel profesional. Esta posibilidad podría confirmarse partiendo del presente estudio para realizar un subsecuente, que incluya más variables fisiológicas.

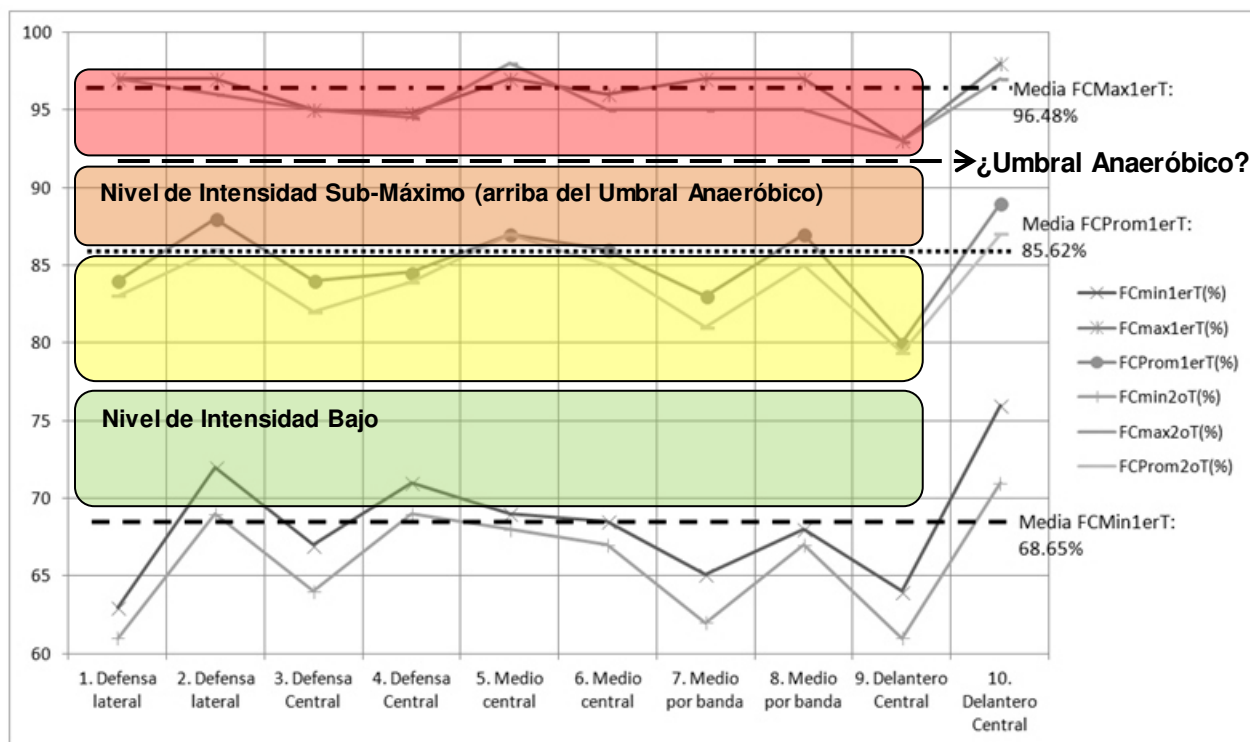


Figura 10. Ilustración teórica para mostrar la posibilidad de establecer zonas concretas de intensidad de juego en el Fútbol profesional.

Al pensar en “intensidad”, también es menester hablar de volumen. Si se establecen zonas en posteriores estudios, éstas pueden tomarse como punto de partida para determinar tiempos en cada zona durante los partidos y en cada posición táctica. Ambos, volumen e intensidad, serían aportaciones de enorme realce para la teoría y práctica del fútbol profesional.

9. CONCLUSIONES

La demanda fisiológica sobre el futbolista profesional de primer nivel fue realizada con un procedimiento estadístico basado en el registro de los jugadores de un equipo campeón de liga durante 10 partidos oficiales, incluyendo la final. Estas características del estudio le confieren una diferencia fundamental respecto a otros trabajos en la misma línea. Se confirmaron varios de los hallazgos de estudios previos, aún los realizados con futbolistas no profesionales o en partidos de preparación, pero el tamaño de la muestra y la cantidad de datos de la presente sirvió para calcular la DE, dato que aporta información para hacer inferencias respecto a las tendencias tanto del rendimiento fisiológico de los jugadores como de la elevada exigencia competitiva del fútbol profesional.

La fórmula “220-edad” ha sido descartada profusamente en la literatura como indicador de precisión para la dosificación de cargas y la evaluación del rendimiento en el entrenamiento deportivo, pero en el presente estudio se describió la diferencia cuantitativa al usar tanto la ecuación atribuida a Fox et al como el valor real de FCmax obtenida en prueba de terreno previo al inicio de la temporada. El margen de error supera los 3 latidos mencionados por autores especialistas en el análisis de fórmulas y procedimientos de estimación del VO₂max, y además se estableció una correlación elevada y

estadísticamente significativa entre la FCmaxK y las medias de las distintas variables controladas en competencia.

Los futbolistas de la muestra promediaron 85.62% y 84.23% de la FCmaxK como esfuerzo medio, cifras que oscilan según datos teóricos alrededor del 80% del VO2max. Sin embargo, es posible plantear estudios donde se analicen más variables además de la FC, así como con un mayor número de jugadores, para poder determinar con mayor precisión el VO2max real.

Al inicio del planteamiento de esta investigación, el autor valoró la posibilidad de establecer diferencias entre jugadores por posición táctica. Empero, al haber analizado sólo dos jugadores por posición, aún a través de 10 partidos, y detectando que todas las variables en competencia estuvieron fuertemente correlacionadas con la FCmaxK (individual real), no sería estadísticamente precisa una diferenciación como esa. Pero el procedimiento realizado puede replicarse, con el objetivo de comparar el esfuerzo por posición táctica mediante la FC con la validez estadística necesaria, con una muestra suficientemente grande de cada ubicación.

Con la evidencia obtenida de los valores medios de los indicadores utilizados, se ha propuesto el establecimiento de zonas de intensidad específica considerando tanto límites como dispersión de los registros. La propuesta en sí misma puede servir como referencia para la continuidad de la preparación del equipo evaluada, pero con estudios derivados del presente pueden establecerse no sólo intensidades sino hasta normativas para la orientación del entrenamiento de los futbolistas en general.

Así, se plantean algunas consideraciones para trabajos futuros en esta línea:

- **Tamaño de la muestra.** Aunque la muestra y la cantidad de partidos analizados fue mayor en este trabajo que en estudios similares, evaluar a mayor número de jugadores puede arrojar datos definitivos de caracterización de lo que debe establecerse como metas en cuando a rendimiento fisiológico para lograr altos resultados en el futbol profesional.
- **Variables Fisiológicas.** Controlar mayor cantidad de variables funcionales diagnósticas además de la FCmaxK, como antropometría completa, prueba de esfuerzo en laboratorio para determinar umbral anaeróbico en prueba de terreno y VO2max, todas las cuales pueden correlacionarse y compararse. También se recomienda la determinación del tiempo total que cada jugador pasa en cada zona de intensidad de modo que puedan determinarse volúmenes.
- **Análisis *Time-Motion*.** Realizar, además de control de la frecuencia cardiaca continua en partidos oficiales, un análisis *Time-Motion* (análisis del tiempo empleado en diferentes actividades durante la competencia, realizado en base a video) para caracterizar los desplazamientos y velocidades y vincularlos al perfil de FC del jugador.
- **Condiciones uniformes de edad y años de entrenamiento.** Para eliminar el factor de la edad y buscar la diferenciación entre posiciones tácticas, será útil evaluar jugadores de un rango menor de edades, como un equipo estatal o nacional de una categoría menor, y ampliar la cantidad de sujetos por posición táctica. También el registro de los años de entrenamiento puede arrojar datos interesantes relacionados con las adaptaciones fisiológicas reflejadas en la FC y otras variables.

10. REFERENCIAS

Agnevik, G. (1970). *Fotboll*. Suecia: Trygg-Hansa.

Ali, A., y Farrally, M. (1991). Recording soccer player's heart rates during matches. *Journal of Sports Sciences*, 9 (2), 183-189.

Åstrand, P.-O. & Rodahl, K. (1986) *Fisiología del trabajofísico*. Ed. Panamericana. Buenos Aires.

Bangsbo J, Nørregaard L, Thorsø F (1991). Activity profile of competition soccer. *Canadian Journal of Sport Sciences/Journal Canadien des Sciences du Sport*, 16(2):110-116

Bangsbo, J. & Michalsik, L. (2002). Assesment and physiologican capacity of elite soccer layers. En: Spinks W., Reilly T., Murphy A. (eds). *Science and Football IV*. Londres: Routledge, 53-62.

Bangsbo, J. (1994). The physiology of soccer: with special reference to intense intermittent excercise. *Acta fisiológica Scandinavica*, Sup. 619, 155.

Bangsbo, J. (1996). Requerimientos energéticos en el fútbol. *Training Fútbol*, 4, 2-17.

Bangsbo, J. (1998). *Entrenamiento de la condición física en el futbol*. Barcelona: Paidotribo.

- Bangsbo, J., Jacobsen, K., Nordberg, N., Christensen, N. J., & Graham, T. (1992). Acute and habitual caffeine ingestion and metabolic responses to steady-state exercise. *Journal of Applied Physiology*, 72(4), 1297-1303.
- Bangsbo, J., Mohr, M., & Krstrup, P. (2006). Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *Journal of Sports Sciences*, 24, 665-674.
- Bangsbo, J., Norregaard, L., & Thorso, F. (1991). Activity profile of competition soccer. *Canadian Journal of Sport Sciences*, 16, 110-116.
- Barbero, J., Soto, V., & Granda, J. (2004). Análisis de la frecuencia cardíaca durante la competición en jugadores profesionales de fútbol sala. *Apunts. Educación Física y Deportes*, nº 77, pp. 71-78.
- Barbosa, F.; Biazotto, J. & Bottaro, M. (2002). Exercise prescription using the heart rate reserve equation. En *EFDeportes, Revista Digital*, recuperado de <http://www.efdeportes.com/> Revista Digital - Buenos Aires - Año 8 - Nº 54
- Bosco, C. (1991). *Aspectos fisiológicos de la preparación física del futbolista*. Barcelona: Paidotribo.
- Castellano, J.; Masach, J. y Zubillaga, A. (1996). Cuantificación del esfuerzo físico del jugador de fútbol en competición. *Training Fútbol*, 7, 27-41.
- Chamoux, A., Fellmann, N., Mombaerts, E., Catalina, P. & Coudert, J. (1988). Football Professionel. Sur le terrain, suivi de l'entraînement par la fréquence cardiaque et la lactatémie. *Médecine du Sport*, 62 (2), 88-93.
- Dal Monte, A., & Leonardi, L. M. (1975). Sulla specifita della valutazione funzionale negli atleti: esperienze sui canoisti. *Medicina dello Sport*, 28, 213-219.
- De Bruyn-Prevost, P. & Thillens, R. (1983). Evolution de la frequence cardiaque et du taux d'acide lactique sanguin lors de rencontres de football. *Médecine du sport*, 57 (2), 48-51.
- Ekblom, B. (1986). Applied physiology of soccer. *Sports Medicine*, 3, 50-60.

- Ferreira, L. (2002). Análise da performance em futebol. Estudo comparativo da frequência cardíaca e das ações táctico-técnicas defensivas em equipas de diferente nível competitivo, no escalao sub-16 e sub-17. *Dissertação de Mestrado nao publicada*, FCDEF-UP.
- Fornaris, E., Vankersschaver, J., Vanuxem, D., Zakarian, H., Commandre, F. & Vanuxem, P. (1989). Football. Aspects énergétiques. *Médecine du Sport*, 63 (1), 32-36.
- Fox III, S., Naughton, J. & Haskell, W. (1971). Physical activity and the prevention of coronary heart disease. *Ann Clin Res* 3:404-432.
- Fox, E. (1984). *Fisiología del Deporte*. Buenos Aires: Panamericana.
- Fox, E.L., Bowers, R.W. & Foss, M.L (1989). *The Physiological basis of physical education and athletics* 4th ed. Philadelphia: W.B. Saunders Company.
- García Ocaña, F. (1994). Estudio de la frecuencia cardíaca del portero de fútbol en competición. *Rev. El Entrenador Español*, nº 61, pp. 53-58.
- García, O. & Ardá, T. (2005). Análisis de la frecuencia cardíaca en el contexto competitivo en el fútbol. *Training Fútbol*, 111, 34-42.
- Godik, M. A. y Popov, A. V. (1998). *La preparación física del futbolista*. Barcelona: Paidotribo.
- González Cabrero, J. (1996). Estudio fisiológico en jugadores de fútbol. *Rev. Training Fútbol*, nº 4., pp. 38-43.
- Gonzalo-Prieto, R. (2006). Análisis de la Carga Interna en el Futbol, *Lecturas : Educación Física y Deportes*, No. 102, recuperado de <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2148497>
- Gretebeck, R., Montoye, H., Bailor, D & Montoye, A. (1991). Comments on heart rate recording fields studies. *Journal of Sport Medical Physical Fitness*. 31, 629-631
- Grosgeorge, B. (1990). *Observation et Entraînement en sports collectifs*. Paris: Ed. INSEP
- Gutiérrez, D., & Sira, O. (1986). *Educación física. 1 y 2 Nociones fundamentales, de Educación Básica*. Venezuela: Editorial Larense, CA.

- Hall, L. (1996). *Desarrollo y administración de programas de rehabilitación cardíaca*.
Barcelona: Paidotribo.
- Heyward, V. (1997). *Advanced fitness assessment and prescription* 3rd ed. Human Kinetics,
Champaign Illinois.
- Jimenez, R., Mendiluce, J., & Ostolaza, J. (1993). Estudio fisiológico sobre el fútbol juvenil.
Revista de Entrenamiento Deportivo, 2, 22-27.
- Karvonen, J. y Vuorimaa, T. (1988). Heart rate and exercise intensity during sports activities.
Practical application. *Sports Medicine*, 5 (5), 303-311.
- Karvonen, M., Kentala, E. & Mustala, O (1957). The effects of training on heart rate: a
longitudinal study. *Ann Med Exper Fenn*, 35(3):307-315.
- Kawakami, V., Nozaki, O., Matsuo, A. & Fukunaga, T. (1992). Reliability of measurement of
oxygen uptake by portable telemetric system. *Eur. J. Appl. Phys.* 65: 409 – 414.
- Kindermann, W., Simon, G. & Keul, J. (1979). The significance of the aerobic-anaerobic
transition for the determination of work load intensities during endurance training. *Eur J
Appl Physiol* 42: 25-34
- Kirkendall, D. (1985). The applied sport science of soccer, *Phys.Sports Med.* 13 (4): 53-62.
- Krustrup, P. & Bangsbo, J. (2001). Physiological demands of top-class soccer refereeing in
relation to physical capacity: Effect of intense intermittent exercise training, *Journal of
Sports Sciences*, 19, pp. 881–891
- Leger, L. & Thiviege, M. (1988). Heart rate monitors: validity, stability, and functionality. *The
Physician and Sportmedicine.* 5, 143-151.
- Lusk, G. (1928). *The Elements of Science of Nutrition*. WB Saunders, Fladelfia.
- Meléndez (1995)
- Mombaerts, E. (2000). Fútbol. *Del análisis del juego a la formación del jugador*. Barcelona:
INDE.
- Morehouse, L. & Miller, A. (1976). *Fisiología del Ejercicio*. Ed. El Ateneo, Buenos Aires.

- Negrão, C., Forjaz, C., Rondon, M. & Brum, P. (1996). Adaptação cardiovascular ao treinamento físico dinâmico; Cardiovascular adaptation in physic exercise, en Sociedade de Cardiologia do Estado de São Paulo, Río de Janeiro: Atheneu, pp. 532-540.
- Nogués Martínez, R. (1998). Análisis de las modificaciones de frecuencia cardiaca de futbolistas no profesionales durante la competición. *Training Fútbol*, 25, 42-46.
- Nogués-Martínez, R. (1996). Estudio de la frecuencia cardiaca de un futbolista no profesional durante la competición. *Training Futbol*. 11 (3): pp. 28 – 32
- Nowacki, P., Cai, D., Buhl, C., & Krummelbein, U. (1988). Biological performance of German soccer players (professionals and juniors) tested by special ergometry and treadmill methods. *Science and football*, 1, 145-157.
- Pablos, C. y Huertas, F. (2000). Entrenamiento integrado: justificación de las propuestas de entrenamiento y evaluación de rendimiento aero-anaeróbico en el fútbol. *Revista de Entrenamiento Deportivo*, 14 (3), 5-15.
- Pineda, C. & Torres, F. (2011). *Entrenamiento de la resistencia aeróbica en futbolistas: revisión histórica, tendencias y avances*, tesis de grado, Universidad del Valle.
- Pirnay, F.; Geurde, P. y Marechal, R. (1993). Necesidades fisiológicas de un partido de Fútbol. *Revista de Entrenamiento Deportivo*, 7 (2), 45-52.
- Platonov, V. (1994). *La adaptación en el deporte*. Edit. Paidotribo, Barcelona.
- Platonov, V. (1997). *Preparación Física*. Edit. Paidotribo, Barcelona
- Potiron-Josse, M., Hubert, M., Ginet, J. & Suaudeau, M. (1980). Etude télémétrique de la fréquence cardiaque chez le footballeur de haut-niveau lors de l'entraînement et lors de matches amicaux. *Médecine du Sport*, 54 (5), 291-295.
- Reilly, T. (1990). Football, en Reilly, T., Secher, N, Snell, P. & Williams, C. (eds). *Physiology of Sports*, E & F.N.Spon, London, pp. 371–425.

- Reilly, T. (1994). Physiological profile of the player. En B. Ekblom (ed.), *Football (Soccer). Handbook of Sports Medicine and Science* (pp. 78-94). I.O.C. Oxford: Blackwell Scientific Publications
- Reilly, T. (2000). The physiological demands of soccer. In Bangsbo, J. (ed). *Soccer & Science*, Copenhagen: Institute of Exercise and Sport Sciences, Universidad de Copenhagen, pp. 91-106.
- Robergs, R. & Landwehr, R. (2002). The surprising history of the $HR_{max}=220-age$ equation, *JEPonline*, Volumen 5, Número 2.
- Rodríguez, F., Iglesias, X. & Tapiolas, J. (1996). Gasto energético y valoración metabólica en el fútbol. *Rev. Training Fútbol*, nº 9, pp. 24-33.
- Rohde, H. & Espersen, T. (1998). Work intensity during soccer training and match-play, en T. Reilly, A. Lees, K. Davids y W.J. Murphy (Eds.), *Science and Football* (pp. 68-75).
- Saltin, B. (1973). Metabolic fundamentals in exercise, *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 5, pp. 137-146.
- Sanuy, X., Peirau, X., Biosca, P., y Perdrix, R. (1995). Fisiología del fútbol: revisión bibliográfica. *Apunts. Educación Física y Deportes* (42), 55-60.
- Scaglioni, P. (2000). Intensidad de Juego y Gasto Energético de Futbolistas Costarricenses de Primera División, en *Memoria del I Congreso Latinoamericano de Ciencias Aplicadas al Fútbol* Vol. 1. p.28.
- Schneider (1939). *Physiology of muscular activity*, 2a ed., Filadelfia: W.A.Saunders Co.
- Segura, J. & Gorjón, J. (1998). Valoración de la Fc en situaciones de trabajo del pressing. *Actas del III congreso de las ciencias del deporte, la educación física y la recreación*, pp.859-883
- Smaros, G. (1980). Energy usage during a football match, en L. Vecchiet (Ed.). *Proceedings of the First International Congress on Sports Medicine Applied to Football*, pp. 795–801.

- Smolaka, V. (1978). Cardiovascular aspects of soccer, *Physiology and Sportsmedicine*, 18, pp. 66–70.
- Soares, J. (1988). Abordagem fisiológica do esforço intermitente. Tesis de Doctorado, no publicada, ISEF-UP.
- Swain, D., Abernathy, K., Smith, C., Lee, S. & Bunn, S. (1994). Target heart rates for the development of cardiorespiratory fitness. *Med Sci Sports Exerc* 26 (1):112-116.
- Tanaka, H., Monahan, K. & Seals, D. (2001). Age predicted maximal heart rate revisited. *J Am Coll Cardiol* 37:153-6
- Van Gool, D.; Van Gerven, D. y Boutmans, J. (1988). The physiological load imposed on soccer players during real match-play. En T. Reilly, A. Lees, K. Davids y W.J. Murphy (Eds.), *Science and Football* (pp. 51-59). London: E. y F.N. SPON.
- Vangool (1989),
- Weineck, J. (1994). *Futbol total. Entrenamiento físico del futbolista*. Barcelona: Paidotribo.
- Weineck, J. (2005). *Entrenamiento Total*. Barcelona: Paidotribo.
- Withers, R., Roberts, G., & Davies, G. (1977). The maximum aerobic power, anaerobic power and body composition of South Australian male representatives in athletics, basketball, field hockey and soccer. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 17(4), 391.
- Yagüe, P. (2002). Fútbol: requerimientos físicos y fisiológicos de la competición, perfil funcional del jugador. *Training Fútbol*, 72, 32-45.

ANEXO A

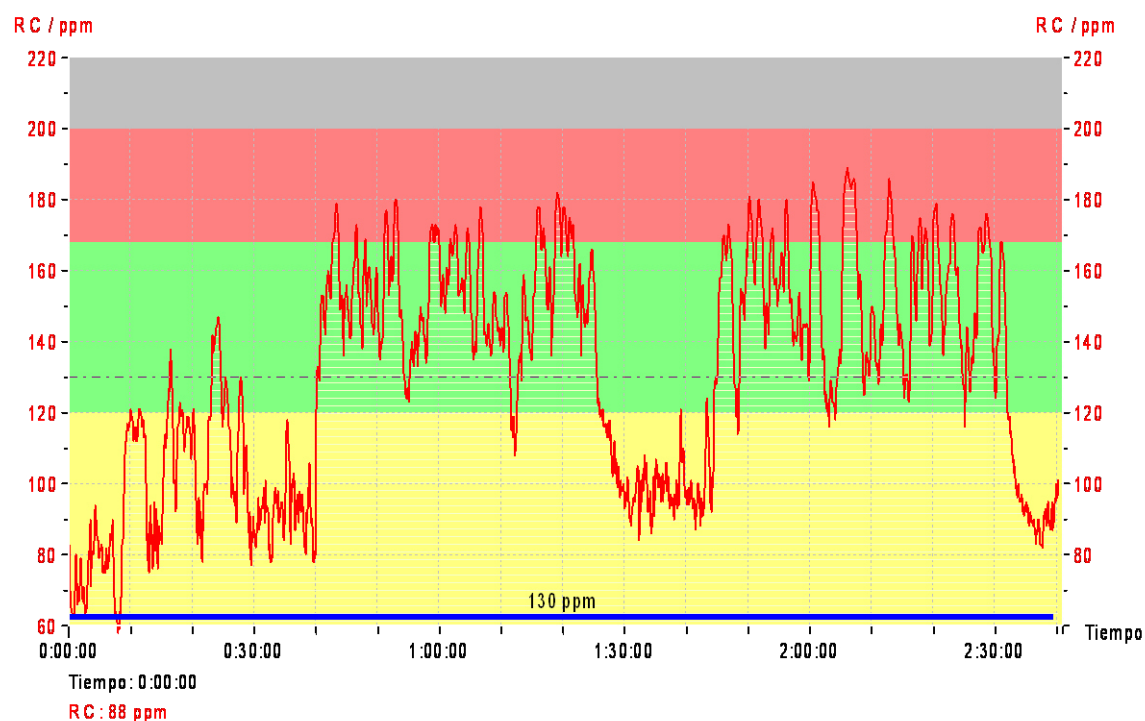
**Ejemplo de Registro Continuo del Comportamiento de la FC y
otros datos controlados por el Polar Team.**

JORNADA 16

REAL ESPANA VS MOTAGUA

Datos Valor Unidad
 Duración 2:40:15
 Velocidad de muestreo 5 s

Consumo de energía 1493 kcal
 Número de latidos 20843 latidos
 Recuperación -13 latidos
 Ritmo cardíaco mínimo 58 ppm
 Ritmo cardíaco medio 130 ppm
 Ritmo cardíaco máximo 189 ppm
 Desviación estándar 32.0 ppm



Persona	CARLOS DIAS	Fecha	10/11/2007	Ritmo cardíaco	130 ppm		
Ejercicio	JORNADA 16 VS MOTAGUA	Hora	06:54:22 p.m	Ritmo cardíaco	189 ppm		
Deporte	FUTBOL	Duración	2:40:15.0			Umbrales	120 - 168
Nota				Selección	0:00:00 - 2:40:15 (2:40:15.0)		